

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA SUPLEMENTAÇÃO DE
BOVINOS DE CORTE NA PEGADA DE CARBONO E USO
DA TERRA**

Yuri Santa Rosa Guimarães

Zootecnista

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA SUPLEMENTAÇÃO DE
BOVINOS DE CORTE NA PEGADA DE CARBONO E USO
DA TERRA**

Yuri Santa Rosa Guimarães

Orientador: **Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis**

Coorientador: **Dr Abmael da Silva Cardoso**

Dissertação de mestrado apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
– UNESP, câmpus de Jaboticabal, como parte
das exigências para obtenção do título de
Mestre em Zootecnia.

2022

G963i Guimarães, Yuri Santa Rosa
Impactos ambientais da suplementação de bovinos de corte
na pegada de carbono e uso da terra / Yuri Santa Rosa
Guimarães. -- Jaboticabal, 2022
84 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientadora: Ricardo Andrade Reis
Coorientadora: Abmael Da Silva Cardoso

1. Bovinocultura. 2. Impacto ambiental. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

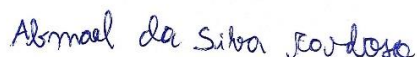
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: IMPACTOS AMBIENTAIS DA SUPLEMENTAÇÃO DE BOVINOS DE CORTE
NA PEGADA DE CARBONO E USO DA TERRA

AUTOR: YURI SANTA ROSA GUIMARÃES

ORIENTADOR: RICARDO ANDRADE REIS

COORIENTADOR: ABMAEL DA SILVA CARDOSO

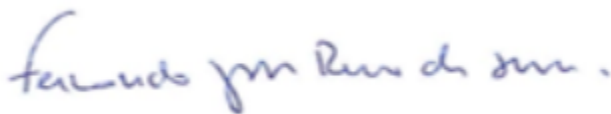
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Zootecnia, pela Comissão Examinadora:



Pesquisador ABMAEL DA SILVA CARDOSO (Participação Virtual)
Universidade da Florida / Ona/FL



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



Prof. Dr. FERNANDO RUIVO DE SOUSA (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Animal / Instituto Politécnico de
Bragança

Jaboticabal, 18 de outubro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Yuri Santa Rosa Guimarães – Nascido em Feira de Santana, Bahia, Brasil no dia 27 de janeiro de 1995, filho de Gledison Aubiraci Guimarães Silva e Ivoneide Santa Rosa Sampaio. Formou-se Técnico em Agropecuária pela Escola de Educação Básica e Profissional Fundação Bradesco (EEBPFB) em dezembro de 2014. Durante o curso técnico realizou estágio na área de comercialização de produtos agrícolas. Graduiu-se em Zootecnia pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) em março de 2021, onde foi orientado pelo Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro e pela Prof. Dra. Soraya Maria Palma Luz Jaeger. Durante a graduação foi monitor das disciplinas: química geral e forragicultura. Foi bolsista de iniciação científica e do programa de educação tutorial em zootecnia (PET-Zootecnia), além de realizar estágios e participar de congressos da área de Zootecnia em várias instituições no Brasil. Ainda na graduação cursou um semestre no Instituto Politécnico de Bragança (IPB) em Portugal. Em setembro de 2020 ingressou no curso de mestrado em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV-UNESP), câmpus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil sob orientação do Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis e coorientação do Dr. Abmael da Silva Cardoso. Desde dezembro de 2021 é bolsista FAPESP, referente ao processo 2021/04032-0.

Epígrafe

*“E bem lá no final de tudo,
começo de outro lugar”*

Almir Sater

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares de gerações mais jovens que a minha, para que também possam correr atrás de seus sonhos e não desistir até alcançá-los ...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus familiares pelo apoio durante todos estes anos. Em especial à minha mãe, Ivoneide Santa Rosa Sampaio, que é minha maior torcedora e incentivadora e nunca mediu esforços para contribuir com minhas conquistas e aos meus tios Nivaldo Aguiar e Raimundo Vieira, por serem meus grandes exemplos de homem e sempre me conduzirem no caminho do bem;

À minha namorada, Juliane Silva Mascarenhas por todo apoio, carinho, companherismo, compreensão e por me incentivar a ser uma pessoa melhor;

Ao meu coorientador e amigo Dr. Abmael da Silva Cardoso, por todos os ensinamentos, parceria e contribuição com meu crescimento pessoal e profissional;

Aos colegas de pós-graduação e de graduação do grupo UNESPFOR, em especial aos amigos Fernando Ongaratto, Francisco Amaral e Marcelo Augusto por toda parceria e acolhimento em Jaboticabal;

A todos os professores do programa de pós-graduação em Zootecnia da FCAV-UNESP, que de alguma forma contribuíram com meu aprendizado, especialmente ao Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis por permitir que este sonho se tornasse realidade;

Aos professores da época da graduação, especialmente ao Prof. Dr. Ossival Ribeiro, Prof. Dra. Soraya Jaeger e Prof. Dra. Meiby Leite, por todos os ensinamentos, que permitiram que eu pudesse chegar até aqui;

Aos grandes amigos: Vinicius Aguzzoli, Glauber Gonçalves, Gabriel Rodrigues, Manoel Falcão e Tainan Batista que sempre me acompanharam e torceram pelo meu sucesso;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, por conceder a bolsa de estudo referente ao processo 2021/04032-0.

A todos vocês, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais.....	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
1.2.1. Sistema de Produção	2
<i>Cria</i>	3
<i>Recria</i>	5
<i>Terminação</i>	7
<i>Crescimento compensatório</i>	8
1.2.2. Fundamentos da Suplementação.....	9
1.2.3. Emissão de Gases de Efeito Estufa	11
1.2.4. Pegada de Carbono	12
1.2.5. Uso da Terra	14
1.2.6. Avaliação de Ciclo de Vida.....	15
1.3. OBJETIVO.....	21
1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
2. CAPÍTULO 2 – Impacto de estratégias de suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono	30
2.1. INTRODUÇÃO	31
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.3. RESULTADOS	41
2.4. DISCUSSÃO	45
2.5. CONCLUSÕES	48
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
3. CAPÍTULO 3 – Impacto da suplementação na pegada de carbono e uso da terra do ciclo completo de produção de bovinos de corte.....	54
3.1. INTRODUÇÃO	55

3.2. MATERIAL E MÉTODOS	56
3.3. RESULTADOS	69
3.4. DISCUSSÃO	72
3.5. CONCLUSÕES	76
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
4. CAPÍTULO 4 – Considerações finais.....	83
4.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

IMPACTOS AMBIENTAIS DA SUPLEMENTAÇÃO DE BOVINOS DE CORTE NA PEGADA DE CARBONO E USO DA TERRA

RESUMO - O objetivo com este estudo foi calcular o impacto de estratégias de suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono e uso da terra. Foi utilizada a avaliação de ciclo de vida, com base na metodologia de cálculo Tier 2 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e utilização de fatores de emissão nacionais. Estimou-se a emissão de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2), desde a aquisição da matéria prima, processos biológicos dos animais e manejo das excretas. As categorias de impactos avaliadas foram a pegada de carbono, kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, kg de Peso Corporal⁻¹ (PC) e uso da terra, m². kg de PC⁻¹. Primeiro a análise de cada categoria animal foi realizada individualmente. Entre as estratégias de suplementação avaliadas em cada categoria, as que mais reduziram a pegada de carbono foram utilizadas para realizar a integração entre as fases e montar um ciclo completo de produção. Neste sistema, considerou-se sete possíveis cenários. No cenário 1 os bovinos receberam mistura mineral durante todo ciclo de vida, no cenário 2 a suplementação ocorreu apenas na terminação, no cenário 3 foi estabelecida a terminação em confinamento, no cenário 4 os bovinos foram suplementados na recria e terminação, no cenário 5 além da suplementação na recria, a terminação foi confinada, no cenário 6 todas as categorias foram suplementadas e no cenário 7 considerou a suplementação na cria e recria, com a terminação em confinamento. Na avaliação individual a pegada de carbono das vacas variou de 9,6 a 11,3; dos bezerros de 3,7 a 5,2; das bezerras de 3,9 a 4,4; dos machos de sobreano de 3,9 a 30,8; das fêmeas de sobreano de 5,9 a 13,3 e dos machos não castrados de 4,0 a 22,7. A única estratégia de terminação para as fêmeas foi em confinamento, que gerou 4,3 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC⁻¹. A suplementação reduziu a pegada de carbono. Nos sistemas de produção de ciclo completo, a suplementação diminuiu simultaneamente, a pegada de carbono e uso da terra, de 20,8 a 12,7 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC⁻¹ e de 43 a 26 m². kg de PC⁻¹, com os maiores valores obtidos no cenário 1 e os menores no cenário 7. A redução na pegada de carbono e uso da terra ocorreu devido ao aumento da eficiência na produção. O CH_4 foi o gás mais representativo e em média o N_2O foi o segundo gás que mais contribuiu com a pegada de carbono. A fase de cria foi a principal fonte de emissão, principalmente em razão das vacas. A terminação foi a fase de menor contribuição. O aumento na taxa de natalidade do rebanho e a terminação em confinamento foram às estratégias que mais reduziram a pegada de carbono e o uso da terra. A suplementação é uma alternativa para reduzir a pegada de carbono e uso da terra da pecuária de corte.

Palavras-chave: bovinos de corte, gases de efeito estufa, metano, pegada de carbono, uso da terra

ENVIRONMENTAL IMPACT OF BEEF CATTLE SUPPLEMENTATION ON CARBON FOOTPRINT AND LAND USE

ABSTRACT - The objective of this study was to calculate the impact of beef cattle supplementation strategies on carbon footprint and land use. The life cycle assessment approach based on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Tier 2 calculation methodology with national emissions factors was adopted to estimate methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and carbon dioxide carbon (CO₂) emissions of all processes, from raw material acquisition, animal biological processes and excreta management. First the analysis was carried out for each animal category and the best strategies to reduce the carbon footprint in each category were used to integration among cowcalf, rearing and finishing. In beef cattle full cycle, seven supplementation scenarios were considered, scenario 1 the cattle received mineral mixture throughout their life cycle, in scenario 2 the cattle were supplemented only in the finishing phase, in scenario 3 the finishing was in feedlot, in the scenario 4 the cattle were supplemented in the rearing and finishing, in the scenario 5 there was supplementation in the rearing and finishing was in feedlot, in the scenario 6 all the categories were supplemented and in the scenario 7 there was supplementation in the cowcalf and rearing with the finishing in feedlot. In the individual evaluation the carbon footprint of the cows ranged from 9,6 to 11,3; male calves from 3,7 to 5,2; female calves from 3,9 to 4,4; yearling male from 3,9 to 30,8; yearling female from 5,9 to 13,3 and non castrated male from 4,0 to 22,7. The only finishing strategy for female was in feedlot, the carbon footprint was 4,3. Supplementation decreased carbon footprint. By production systems beef cattle supplementation decreased carbon footprint and land use from 20,8 to 12,7 kg de CO_{2eq}. kg de PC⁻¹ and from 43 to 26 m². kg de PC⁻¹. The highest values were in scenario 1 and the lowest in scenario 7. In the individual and full-cycle production systems evaluation, the decreased in carbon footprint and land use occurred due to increased production efficiency. CH₄ was the most representative gas, on average N₂O was the second gas that most contributed to the carbon footprint. The cowcalf phase was the main source of emissions, mainly due to the cows. Finishing was the phase with the lowest contribution. The improvement in the birth rate of the herd and the finishing in feedlot were the strategies that had the most decreased carbon footprint and land use. Supplementation is an alternative to decreased carbon footprint and land use from beef cattle production.

Key-words: cattle supplementation, carbon footprint, greenhouse gas emission, land use, methane

1. CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1.1. INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte é uma importante atividade econômica para o Brasil, pois está presente nos 26 Estados brasileiros e no Distrito Federal (ABIEC, 2022), sendo fonte de renda para produtores de todo o país. De acordo com a ABIEC (2022), a produtividade de carne bovina no Brasil aumentou 35,0% nos últimos 20 anos, atingindo $4,0 \text{ @.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2021. Embora o crescimento relativo tenha sido significativo, a produtividade média brasileira é apenas 12,5% do que tem sido reportado por trabalhos conduzidos somente durante o período chuvoso no país (Delevatti et al., 2019; Hoffmann et al., 2021).

Paralelo a necessidade de intensificação da bovinocultura de corte brasileira, outra vertente que tem sido discutida é o meio ambiente (Cardoso et al., 2020a). Na produção de bovinos ocorre a emissão de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2), que são os principais gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelo aquecimento global (Rotz et al., 2019). Outro questionamento é sobre o uso da terra (Silva et al., 2021a), que é a quantidade de m^2 necessários por kg de ganho de peso corporal (PC). A pecuária extensiva, além de utilizar maior quantidade de área para produção, gera maior emissão de GEE por kg PC relativamente a sistemas de produção mais eficientes (Cardoso et al., 2016).

A intensificação da bovinocultura de corte de maneira sustentável gera aumento em produção e reduz a emissão de GEE e uso da terra por kg de PC (Cardoso et al., 2020a). Como a produção de bovinos de corte no Brasil é predominantemente em regime de pastejo (ABIEC, 2022), otimizar a utilização dos recursos forrageiros através da melhora no manejo das pastagens é o primeiro passo para elevar a produtividade (Cardoso et al., 2020a). Adicionalmente, uma alternativa para aumentar ainda mais a produtividade e que tem sido amplamente adotada no Brasil é a suplementação (D'Aurea et al., 2021). Esta técnica consiste no fornecimento de

alimentos concentrados para bovinos em pastejo com objetivo de melhorar o balanço nutricional do animal (Detmann et al., 2014).

A suplementação de bovinos é uma alternativa eficaz no aumento da taxa de natalidade do rebanho (Almeida et al., 2020) e do ganho de peso médio diário (GMD) de animais em crescimento (De Paula et al., 2019). Embora ainda não tenha sido quantificada, mas é esperado que a suplementação de bovinos de corte reduza a pegada de carbono (kg CO_{2eq}. kg de PC⁻¹) e uso da terra (m². kg de PC⁻¹). A pegada de carbono representa numa mesma base a emissão dos 3 GEEs, em função do ganho de PC dos bovinos. Estudos que avaliaram sistemas de produção de bovinos de corte reportaram menores valores de pegada de carbono e uso da terra conforme aumentou a produtividade (Dick et al., 2015; Cardoso et al., 2016).

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Sistema de Produção

Até meados da década de 1990 a pecuária de corte brasileira era considerada uma atividade de pouco uso de tecnologia e baixo custo de produção (Millen e Arrigoni, 2013). Embora na maioria das situações ainda ocorra pouco uso de tecnologias, tendo em vista a produtividade aquém do potencial (ABIEC, 2022), a elevação dos custos tem reduzido cada vez mais a margem da operação pecuária. Este fato exige que os sistemas se tornem mais intensivos, o que tem contribuído para o crescimento da bovinocultura nacional.

A pecuária de corte no Brasil é dividida em três fases de produção, a cria, recria e terminação, as quais são desenvolvidas como atividades isoladas ou combinadas (Millen e Arrigoni, 2013). A criação de bovinos de corte no Brasil em todas as fases de produção é realizada predominantemente em pastagens com espécies do gênero *Urochloa spp.* e animais da raça Nelore (D'Aurea et al., 2021). Mesmo na terminação, o percentual de animais abatidos que são terminados em confinamento é de apenas 15,4% (ABIEC, 2022).

Na maior parte do Brasil, em sistemas de produção convencional de bovinos de corte, a estação de monta ocorre entre dezembro e fevereiro (Haddad e Mendes,

2010). A duração da gestação das vacas Nelore é de aproximadamente 290 dias (BR-CORTE, 2016). Dessa maneira os partos acontecem de outubro a dezembro e o período de amamentação vai de outubro a maio. O desmame ocorre de maio a junho, quando então, os bezerros passam para a recria. A duração da fase de recria e de terminação é variável, em função do GMD dos bovinos, bem como do peso determinado para estes animais ao final de cada fase.

Cria

A cria é a primeira fase de criação de bovinos de corte e tem como objetivo produzir bezerros para as etapas seguintes. Esta fase é realizada predominantemente de forma extensiva e possui os principais índices que determinam a sua eficiência econômica e biológica, a taxa de desmama e o peso do bezerro a desmama, aquém do seu potencial.

Como a herdabilidade para características reprodutivas é baixa, há pouco ganho genético entre gerações (Haddad e Mendes, 2010), dessa maneira, estratégias nutricionais como a suplementação (Almeida et al., 2020) são mais eficientes em melhorar os índices reprodutivos de forma mais imediata. A nutrição influencia a atividade reprodutiva estimulando o sistema endócrino a produzir os hormônios sexuais, GnRH, FSH, LH e outros hormônios como a insulina, IGF1, leptina e fornecendo substratos metabólicos ao folículo, ovário e embrião (D'Occhio et al., 2019).

O principal indicador do *status* nutricional da vaca é o Escore de Condição Corporal (ECC). Este índice permite avaliar de forma prática a quantidade de reservas que a vaca possui. O valor adequado de ECC para a fêmea bovina é de 5 a 7, numa escala de 1 a 9 (Lana Ferreira et al., 2020), onde valores inferiores a 5 e superiores a 7 indicam vacas magras e gordas, respectivamente. A partir desta avaliação é possível adotar estratégias nutricionais com o objetivo de manter a fêmea com ECC adequado, principalmente nos períodos pré-parto e pós-parto. O ECC nestes períodos possui alta correlação com reconcepção (D'Occhio et al., 2019).

Segundo D'Aurea et al. (2021) a taxa de natalidade média da pecuária de corte brasileira é de 60%. Valores para este índice de 90% são comuns nos Estados Unidos (Scasta et al., 2019) e Austrália (Behrendt e Weeks, 2017), países tradicionais na

pecuária de corte. Embora nestes países o rebanho de vacas de corte tenha grande porcentagem de genética *Bos taurus*, que segundo Cooke et al. (2020) possui maior fertilidade em relação ao *Bos indicus*, é possível aumentar a fertilidade do rebanho nacional, principalmente com a utilização de estratégias nutricionais.

Rodrigues et al. (2020) em estudo com vacas Nelore que receberam suplemento proteico-energético antes do parto à 0,2% do PC em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu obtiveram taxa de natalidade de 79%, no tratamento com fornecimento de mistura mineral este índice foi de 62%. No trabalho de Almeida et al. (2020) também com vacas Nelore em pastagens de *Urochloa decumbens* recebendo suplemento proteico-energético à 0,2% do PC antes ou depois do parto, obtiveram taxa de natalidade de 63% e 84%, respectivamente, ambos superiores ao tratamento com fornecimento de mistura mineral, 50%.

Sartori e Guardieiro (2010) destacaram que vacas de corte possuem anestro pós-parto com maior duração em relação às vacas de leite devido à somatória de fatores como baixo ECC, nutrição inadequada e amamentação, que podem afetar o crescimento e persistência do folículo dominante e alterar a pulsatilidade normal de LH, o hormônio que estimula a ovulação. Estes autores indicaram a suplementação pós-parto para contornar esta situação. Isso corrobora com os exemplos anteriores, em que a suplementação depois do parto resultou em maior desempenho reprodutivo das vacas.

Se tratando dos bezerros, o principal fator que influencia no desempenho destes é a produção de leite de suas mães (D'Occhio et al., 2019). Segundo o BR-CORTE (2016), a partir dos 3 meses de vida do bezerro o leite não fornece mais toda energia necessária para GMD de 1 kg. dia⁻¹ e a partir dos 4,5 meses a deficiência passa a ser também de proteína. Segundo Costa e Silva et al. (2015), o período após o pico de lactação das vacas de corte ocorre na transição da época das águas para a época seca, dessa forma, quando o leite não atende mais as exigências de energia e proteína e o bezerro passa a ter maior dependência do pasto, coincide com a redução na quantidade e qualidade da forragem, que resulta em desempenho abaixo do seu potencial.

O peso médio do bezerro Nelore ao nascimento é de 33 kg (Portes et al., 2020) e na desmama aos 7 meses é de 160 kg (Millen e Arrigoni, 2013). Isso equivale a um GMD de 0,605 kg. dia⁻¹. No trabalho de De Paula et al. (2019) com bezerros Nelore em pastagens de *Urochloa decumbens*, dos 4,0 aos 8,0 meses, recebendo mistura mineral ou suplementação proteico-energética em *creep-feeding* à 0,2% ou 0,5% do PC, obtiveram GMD de 0,662, 0,689 e 0,807 kg. dia⁻¹, respectivamente. Da Silva et al. (2017) em estudo com bezerras Nelore dos 4,5 aos 8,0 meses, em pastagens de *Urochloa decumbens* com fornecimento de mistura mineral ou suplemento proteico-energético em *creep-feeding* a 0,35% do PC obtiveram GMD de 0,678 e 0,706 kg. dia⁻¹, respectivamente.

Os resultados acima mostram que a suplementação de bezerros (as) em *creep-feeding* é eficaz em aumentar o GMD. Carvalho et al. (2019) reportaram que a suplementação em *creep-feeding* a 0,8% do PC foi a que conferiu o maior GMD adicional em bezerros, 0,200 kg. dia⁻¹. Para as bezerras a suplementação à 0,6% do PC foi a que resultou em maior GMD adicional, 0,100 kg. dia⁻¹. Estes resultados explicam os valores dos exemplos mostrados acima, no qual apenas a suplementação de maior consumo (0,5% do PC) para os bezerros gerou incremento mais representativo no GMD, de 0,145 kg. dia⁻¹.

Recria

A recria tem início quando os bezerros (as) são desmamados, em média aos 7 meses de idade. A duração desta fase depende do período de tempo necessário para os bovinos alcançarem em média 370 kg (De Andrade et al., 2020), quando são conduzidos para terminação. No Brasil Central a recria inicia no período da seca, quando há baixa quantidade e qualidade de forragem relativamente ao período das águas. Se neste período o pasto for à única fonte de alimento o GMD pode ser muito baixo, 0,073 kg. dia⁻¹ (Da Silva et al., 2008) ou nulo.

No entanto, em sistemas intensivos de produção é necessário que os animais estejam em crescimento durante todo o ano, para isso é preciso utilizar alternativas para elevar o GMD dos bovinos, como a suplementação. No estudo de Da Silva et al. (2008) com animais Nelore que receberam suplemento proteico-energético à 0,2% do

PC em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, o GMD dos animais foi aproximadamente de 0,310 kg. dia⁻¹.

A suplementação no período da seca tem mostrado resultados de aumento no desempenho em mais de quatro vezes em relação aos bovinos que recebem mistura mineral (Da Silva et al., 2008). Adicionalmente, o GMD de 0,310 kg. dia⁻¹ mostrado acima é superior ao GMD médio de bovinos de recria no Brasil durante todo o ano, 0,300 kg. dia⁻¹ (Cardoso et al., 2016). Em sistemas de produção que a recria dura mais que 12 meses, os bovinos passam por uma segunda época de seca, com o agravante de estarem mais pesados e com maior consumo de matéria seca (CMS) em relação a um animal recém desmamado para obter o mesmo ganho de peso, o que reduz a eficiência do sistema.

Mesmo em sistemas intensivos a recria continua durante a época das águas. Neste período, o uso intensivo dos recursos forrageiros por meio do manejo do pastejo e adubação das pastagens já é suficiente para promover GMD de 0,800 kg.dia⁻¹ (Hoffmann et al., 2021). Mesmo com esse elevado desempenho, ainda é possível obter acréscimo em ganho de peso com o fornecimento de suplementos aos bovinos na época das águas de até 0,300 kg.dia⁻¹ (Detmann et al., 2014).

No trabalho de Hoffmann et al. (2021) com bovinos Nelore suplementados à 0,3% do PC em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, os animais obtiveram GMD maior que 1,0 kg.dia⁻¹, valor superior ao obtido com fornecimento de mistura mineral, 0,830 kg.dia⁻¹. Valente (2015), avaliou o desempenho de bovinos Nelore, suplementados à 0,5% do PC em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, o GMD dos bovinos foi 0,930 kg. dia⁻¹, superior ao GMD dos animais que receberam mistura mineral, 0,622 kg. dia⁻¹.

A diferença de GMD entre os bovinos que receberam mistura mineral dos trabalhos acima mostram que com correto manejo do pastejo foi possível aumentar o GMD em cerca 0,200 kg.dia⁻¹. No segundo estudo foi necessário o fornecimento de 0,2 % do PC de suplemento a mais em relação ao primeiro para que o desempenho dos animais fosse próximo de 1,0 kg.dia⁻¹. Dessa maneira, a otimização da utilização dos recursos forrageiros com objetivo de alcançar o potencial de desempenho animal a pasto é essencial para eficiência produtiva do sistema.

Terminação

A terminação de bovinos se inicia com os animais vindos da recria e o principal determinante do ponto de abate no Brasil é o PC, com os machos predominantemente abatidos com 500 kg (De Andrade et al., 2020) e as fêmeas com 455 kg (Portes et al., 2020). Embora a terminação em confinamento no Brasil venha crescendo, tendo aumentado de 2,3 milhões de animais em 2005 (De Andrade et al., 2020) para 6,0 milhões em 2021 (ABIEC, 2022), esta fase ainda é realizada predominantemente em regime de pastejo. No ano de 2021, do total de 39,1 milhões de cabeças abatidas, 84,6 % foram de sistemas de terminação em pastagens (ABIEC, 2022).

A terminação exclusivamente sob regime de pastejo é de baixa eficiência, devido à elevada exigência de manutenção dos bovinos nesta fase (BR-CORTE, 2016). Esta situação é mais crítica se a terminação ocorrer na época da seca quando as forrageiras são de menor qualidade em relação à época das águas, o que resulta em baixo desempenho ou até perda de peso dos animais (Poppi et al., 2018). No período das águas mesmo sendo possível obter maior GMD dos bovinos, dificilmente estes chegam ao peso de abate com o mínimo de 3 mm de espessura de gordura subcutânea, o segundo parâmetro mais utilizado no Brasil para determinar o ponto de abate (De Andrade et al., 2020). Dessa forma, estratégias, principalmente nutricionais, são necessárias para aumentar a eficiência desta fase e atender à exigência do mercado.

Oliveira et al. (2004), em estudo com bovinos Nelore na fase de terminação em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu na época da seca com fornecimento de mistura mineral, obtiveram GMD destes animais de 0,271 kg. dia⁻¹. Com o fornecimento de suplemento proteico-energético à 0,2% do PC o GMD dos bovinos foi 0,435 kg. dia⁻¹. No trabalho de De Paula et al. (2019) com bovinos Nelore na fase de engorda em pastagens de *Urochloa decumbens* na época das águas, os animais exclusivamente sob regime de pastejo obtiveram GMD de 0,650 kg. dia⁻¹, já com o fornecimento de suplemento proteico-energético nas quantidades de 0,4 e 0,7% do PC o desempenho dos animais foi de 0,722 e 0,776 kg.dia⁻¹ respectivamente.

Além da suplementação a pasto, o confinamento é também uma importante estratégia de terminação de bovinos de corte. Nesta situação os animais são alocados em baias e, portanto, tem menor gasto de energia para buscar água e alimento, pois

estes estão prontamente disponíveis. Dessa maneira, além da menor energia de manutenção em relação a bovinos sob regime de pastejo (BR-CORTE, 2016), o controle sob o balanceamento e quantidade dieta ingerida pelos animais é maior, o qual resulta em desempenho mais elevado (De Andrade et al., 2020).

No estudo de Fiorentini et al. (2018) com bovinos Nelore confinados recebendo silagem de milho e concentrado de milho e soja na proporção volumoso:concentrado de 40:60, o desempenho dos animais foi de 1,26 kg. dia⁻¹. Com o melhoramento genético do gado de corte e o balanceamento mais refinado das dietas, desempenho de bovinos Nelore em confinamento da ordem de 1,5 kg. dia⁻¹ têm sido reportados (Cardoso et al., 2016).

Crescimento compensatório

No Brasil é comum, principalmente no final da época da seca a ocorrência de restrição nutricional em bovinos devido a menor oferta de forragem dessa época do ano. Neste cenário é importante levar em consideração o conceito de crescimento compensatório, o qual ocorre quando após um período de restrição nutricional o bovino apresenta taxas de crescimento mais elevadas relativamente a outros bovinos que não sofreram esta limitação (Silva et al., 2021b). O grau do crescimento compensatório é variável, em função da rigorosidade e duração da restrição, idade do animal, genótipo, entre outras variáveis (De Almeida et al., 2010).

No estudo de Silva et al. (2021b), bovinos que receberam restrição de proteína e/ou energia, apresentaram GMD de 0,150 kg.dia⁻¹, os animais que não foram subnutridos obtiveram desempenho de 1,3 kg.dia⁻¹. Em seguida, quando estes bovinos foram adequadamente nutridos, os que tiveram restrição alimentar no período anterior apresentaram GMD de 1,4 kg.dia⁻¹, e os bovinos que não foram subnutridos obtiveram desempenho na ordem de 0,930 kg.dia⁻¹.

Portanto, em um programa nutricional para bovinos de corte é necessário levar em consideração o histórico do animal, devido a influência da fase de produção nas etapas seguintes, o qual pode resultar em variações no desempenho dos bovinos. Embora esse conceito esteja bem consolidado, não é possível prever com exatidão o nível de crescimento compensatório que o bovino tende a apresentar em função dos mais variados níveis e tempo de restrição nutricional, dentre outras variáveis.

1.2.2. Fundamentos da Suplementação

Conforme Instrução Normativa 15/09 (MAPA, 2009), suplemento é uma mistura de ingredientes e aditivos que é fornecido com objetivo de melhorar o balanço nutricional de animais em pastejo. As opções de suplemento são definidas na Instrução Normativa 12/11 (MAPA, 2004): Suplemento proteico, possui macros e/ou micro minerais, alimentos protéicos e pelo menos 20% de Proteína bruta (PB), suplemento proteico-energético, apresenta na composição, macros e/ou micro minerais, alimentos proteicos e energéticos, pelo menos 20% de PB e fornece 100 g ou mais de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT). 100 kg de PC⁻¹. É também comum no Brasil a utilização de suplemento energético que é composto por macro e/ou micro minerais, alimentos energéticos e possui menos de 20% de PB.

A primeira premissa para se realizar a suplementação é que se disponha de forragem (Reis et al., 2009). Com a otimização da utilização dos recursos forrageiros por meio do manejo do pasto por altura (Ongaratto et al., 2021), adubação com fertilizantes nitrogenados (Delevatti et al., 2019), dentre outros, é possível obter o potencial desempenho animal a pasto (Cardoso et al., 2020a). Resultados de desempenho de bovinos de recria em área de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, de 0,670 à 0,900 kg.dia⁻¹, tem sido alcançados por meio destas estratégias (Ruggieri et al., 2020).

De acordo com De Almeida et al. (2022) as forrageiras de clima tropical apresentam desequilíbrios nutricionais em todas as épocas do ano e, portanto, a suplementação pode ser adotada para adequar o balancemanto da dieta dos bovinos e resultar em incremento no GMD. A indicação de suplementação para pecuária de corte brasileira baseia-se no período da seca e no período das águas (Cardoso et al., 2020b).

No período da seca os pastos possuem elevado teor de fibra em detergente neutro (FDN), acima de 60% e PB entre 6 a 8% (Ruggieri et al., 2020), no entanto teores de 4% de PB e 70% de FDN tem sido reportados (Barbosa et al., 2016). Sendo assim, é recomendado primeiramente o uso de suplementos protéicos, para que o teor de PB da dieta seja superior a 8%, o mínimo necessário para adequado funcionamento ruminal (Poppi et al., 2018). Posteriormente maiores quantidades de suplemento podem ser fornecidas para atender parte das exigências dos bovinos,

conforme expectativa de desempenho dos animais, que segundo Reis et al. (2009) varia desde a manutenção, ganhos moderados de 0,200 a 0,300 kg.dia⁻¹, até ganhos de 0,500 a 0,800 kg.dia⁻¹.

No trabalho de Barbosa et al. (2016), com bovinos machos da raça Nelore em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu na época seca, com 4,4% de PB, o fornecimento de suplemento proteico a 0,1 ou 0,2% do PC elevou o consumo de PB da dieta para 6,8 e 8,6% respectivamente, o qual proporcionou aos bovinos o GMD de 0,173 e 0,240 kg.dia⁻¹. Da Silva et al. (2017) em estudo com fêmeas Nelore em pastagem de *Urochloa decumbens* na época seca com 7,7% de PB, o fornecimento de suplemento proteico-energético a 0,3% do PC elevou o consumo de PB da dieta para 9,9% e os animais obtiveram desempenho de 0,315 kg. dia⁻¹, o dobro em relação ao obtido com fornecimento de mistura mineral, 0,157 kg. dia⁻¹.

Ruminantes são capazes de realizar ciclagem do nitrogênio por um período de tempo, quando a dieta é deficiente neste nutriente (Detmann et al., 2014), podendo até 20% do N que chega ao intestino delgado ser proveniente de reciclagem (BR-CORTE, 2016). Este fato pode explicar o ganho de peso dos animais nos trabalhos acima, quando o teor de PB da dieta esteve abaixo dos 8%.

Na época das águas, as forrageiras de clima tropical apresentam teores de PB de 10 a 12% e FDN abaixo de 60% (Ruggieri et al., 2020). Estes autores também mostraram para *Urochloa brizantha* cv. Marandu teores de PB acima de 14%, FDN abaixo de 58% e digestibilidade da MS acima de 60%. Mesmo nesta situação, há desbalanceamento entre PB e energia, que pode ser corrigido com a utilização de suplementos para adequar a relação de 0,210 kg de PB. kg de Matéria Orgânica Digestível⁻¹ (MOD), que é quando se obtém os melhores resultados (Poppi e McLennan, 1995).

Martins et al. (2016) em estudo com fêmeas Nelore na época das águas em pastagem de *Urochloa decumbens* com 11,1% de PB e 54,6% de NDT, o fornecimento de suplemento energético e proteico-energético, ambos a 0,3% do PC, elevaram o consumo de PB para 12,6 e 14,1% e o consumo de NDT para 62,4 e 63,9%, respectivamente, o qual resultou em GMD de 0,503 e 0,460 kg. dia⁻¹, concomitantemente. Com fornecimento de mistura mineral, o GMD foi de 0,327 kg.

dia⁻¹. A relação PB. NDT⁻¹ com o fornecimento de mistura mineral foi de 0,173. A suplementação energética e proteico-energética elevaram este valor para 0,202 e 0,220, respectivamente, valores próximos ao recomendado por Poppi e McLennan, 1995. O aumento no fornecimento de PB da dieta dos animais que receberam mistura mineral seria necessário nesta situação, corroborando com Detmann et al. (2014), que reportaram a existência de deficiência de PB em relação a energia nas forrageiras de clima tropical mesmo na época das águas.

No estudo de Ferrari et al. (2021) com machos Nelore na época das águas em pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu com 14,1% de PB e 58,1% de MOD, o fornecimento de suplemento energético e proteico-energético, ambos a 0,3% do PC, modificaram o teor de PB para 12,5 e 14,3% e de MOD para 63,0 e 64,2% na dieta, respectivamente. O GMD dos animais foi de 0,940 kg. dia⁻¹. A relação PB. MOD⁻¹ com o fornecimento de suplemento energético e proteico-energético foram respectivamente de 0,219 e 0,247. Nestas situações, houve excesso de proteína na dieta. Neste experimento o pasto foi manejado a 25 cm, que é a altura recomendada para esta forrageira (Ongaratto et al., 2021) e com adubação nitrogenada de 180 kg de N. ha⁻¹.ano⁻¹, portanto, em pastos bem manejados há elevado teor de PB e a deficiência passa a ser de energia.

1.2.3. Emissão de Gases de Efeito Estufa

O Brasil possui o setor agropecuário em destaque na economia nacional e mundial e tem incentivado práticas sustentáveis, como as indicadas no plano ABC, para se tornar referência mundial em preservação ambiental (MCTI, 2021). Embora não seja possível zerar, a pecuária de corte no Brasil possui alto potencial para redução na emissão de GEE (Cardoso et al., 2016). O CH₄, N₂O e CO₂, são os principais GEE emitidos pela pecuária (Rotz et al., 2019).

A emissão de CH₄ ocorre por meio da fermentação entérica de ruminantes e provenientes das fezes (IPCC, 2019). A produção de N₂O ocorre de forma direta, pelos processos de nitrificação e desnitrificação no solo (Ruggieri e Cardoso, 2017) e de forma indireta, em que parte do N volatilizado ou lixiviado pode ser convertido em N₂O (IPCC, 2019). A emissão de CO₂ ocorre por meio da queima de combustíveis fósseis, gerados durante a produção e transporte de fertilizantes e suplementos para os

animais, oxidação da matéria orgânica em pastagens degradadas, desmatamento e queimadas (Ruggieri e Cardoso, 2017).

As emissões de GEE do Brasil em 2016 representaram 2,3% de todas as emissões globais, com um total emitido de 1.050 Mt de CO_{2eq} (WRI, 2021). A nível nacional o setor agropecuário contribuiu com 33,2% das emissões (MCTI, 2021). Do total emitido de GEE pela agropecuária, 58,1% foi devido à emissão de CH₄ entérico, 31,4% de CH₄ proveniente de solos mal manejados, 6,5% de N₂O, originado do manejo do solo e 4,0% de CO₂ principalmente, devido à aplicação de calcário (MCTI, 2021).

O CH₄ de origem entérica é a principal fonte de emissão da pecuária nacional. Em sistemas de produção extensivos o CH₄ pode representar até 98% de todas as emissões de GEE (Ruviaro et al., 2015). A adoção de estratégias que melhorem os índices zootécnicos do rebanho (Searchinger et al., 2021), principalmente o aumento na taxa de desmama e GMD dos animais em crescimento, bem como a redução da idade ao abate (D'Aurea et al., 2021) são fundamentais para reduzir a intensidade de emissão de CH₄ (kg CH₄. kg de PC⁻¹). Searchinger et al. (2021) reportaram que através do aumento no teor de N e melhora na digestibilidade do pasto é possível elevar a produção de carne bovina em 65% e ao mesmo tempo reduzir em 19% a intensidade de emissão de CH₄. Congio et al. (2021) reportaram que o aumento no nível de concentrado da dieta dos bovinos de corte reduziu o fator de conversão de metano (Y_m) em 16% e o rendimento de metano (kg CH₄. CMS⁻¹) em 14%.

As emissões de N₂O e CO₂ são maiores à medida que se intensifica o sistema de produção (Rotz et al., 2019), devido a maior utilização de insumos, no entanto isso é mais que compensando por causa da grande redução na intensidade de emissão de CH₄ entérico, que pode ser de até 67% (Cardoso et al., 2016). Dessa maneira a pegada de carbono é menor nos sistemas de produção mais intensivos.

1.2.4. Pegada de Carbono

O IPCC (2019) fornece três metodologias para realização dos cálculos de emissão de CH₄ e N₂O. A metodologia Tier 1 é a menos detalhada e apresenta fatores de emissão padrão para CH₄ e N₂O, de acordo a região climática. A metodologia Tier 2 fornece equações para calcular os fatores de emissão e permite o uso de fatores de

emissão nacional. A Tier 3 é a metodologia mais refinada e além de indicar o uso de fatores de emissão nacional, leva em consideração se o animal está em condição de estresse, mudança da digestibilidade da dieta em função do consumo, tipos de aditivos da dieta e demais fatores que possam interferir nas emissões. Os fatores de emissão para CO₂ podem ser encontrados na literatura (Ledgard et al., 2011; Cardoso et al., 2016; BEN, 2021).

O dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) representa em um único valor a quantidade emitida de CH₄, N₂O e CO₂, levando em consideração o potencial de aquecimento global (PAG) de cada gás, normalmente para um horizonte de 100 anos. O PAG é periodicamente atualizado pelo IPCC. Os valores atuais do CH₄ é de 27,2, do N₂O de 273 e do CO₂, 1 (IPCC, 2021). Ao associar o CO_{2eq} ao ganho de peso dos animais, se obtém a pegada de carbono (CO_{2eq}. kg PC⁻¹), a maneira mais comum de reportar essas emissões (Cusack et al., 2021).

Estudos de pegada de carbono dos sistemas de produção de bovinos de corte já foram realizados em vários países. A grande variedade de sistemas de produção de bovinos ao redor do mundo gera resultados distintos de pegada de carbono, que varia de 8,6 até 50,9 kg de CO_{2eq}. kg PC⁻¹ (D'Aurea et al., 2021). Essas diferenças podem ocorrer no mesmo país e na mesma região devido às distintas estratégias de manejo, raça dos animais, condições edafoclimáticas, etc. Um fator que gera diferença nos resultados e dificulta a comparação entre trabalhos é o PAG utilizado nos cálculos do CH₄ (21, 23, 25, 27,2 ou 28) e do N₂O (265, 273, 296, 298 ou 310).

Em todos os estudos de pegada de carbono de sistemas de produção de bovinos o CH₄ entérico é a principal fonte de emissão dos GEE. Este gás representa em média, de 48 (Ogino et al., 2007) a 98% (Ruviano et al., 2015) do total emitido pelo sistema. Para o N₂O, estes valores variam de 3,5 a 33% (D'Aurea et al., 2021) e para o CO₂, de 0 (D'Aurea et al., 2021) a 17% (Rotz et al., 2019).

A redução da pegada de carbono da pecuária de corte pode ser obtida de duas maneiras. Pelo aumento no desempenho produtivo e reprodutivo dos bovinos (D'Aurea et al., 2021) ou com técnicas que reduzam a produção diária de CH₄, N₂O e CO₂. Aumento na digestibilidade da dieta e uso de aditivos são estratégias que contribuem em mitigar a emissão diária de CH₄ (Searchinger et al., 2021). Para reduzir

a produção de N_2O , recomenda-se o parcelamento na aplicação de fertilizantes nitrogenados (Corrêa et al., 2021), ou uso de leguminosas nas pastagens, bem como, o melhor balanceamento do teor de PB das dietas. A quantidade emitida de CO_2 pode ser reduzida com a maior precisão na utilização de calcário, fertilizantes e suplementos (MCTI, 2021).

Em um sistema de produção de ciclo completo a fase de a cria é a que mais contribui com a pegada de carbono (Ogino et al., 2007; Beauchemin et al., 2010). Em seguida, a terminação e por último a recria (Rotz et al., 2019; D'Aurea et al., 2021). No entanto a depender, principalmente do tempo de duração da fase e qualidade da dieta, nem sempre a recria é a menor fonte de emissão. A redução da pegada de carbono na fase de cria pode ser obtida por meio da melhora no desempenho reprodutivo das vacas e aumento do peso do bezerro a desmama (Cardoso et al., 2016). Na recria e terminação deve-se buscar o aumento no GMD associado a redução na duração da fase (D'Aurea et al., 2021).

1.2.5. Uso da Terra

O uso da terra é determinado a partir de informações sobre o tamanho, consumo e ganho de peso dos animais, bem como, a produtividade das pastagens e lavouras relacionadas a produção animal (Beauchemin et al., 2010). As áreas de pastagens correspondem a 26% das áreas terrestres do globo e 80% da área agricultável produtiva (Cardoso et al., 2020a). Um dos grandes questionamentos sobre a bovinocultura é a respeito da grande quantidade de terra para produção de carne (Silva et al., 2021a). Embora isso aconteça em algumas situações, no mundo existem áreas que não teriam outra aptidão (Cardoso et al., 2020a). É também preciso destacar a importância dos serviços ecossistêmicos prestado pelas pastagens (Ruggieri et al., 2020), como o aumento na biodiversidade e os solos onde estas estão estabelecidas com potencial de sequestro de CO_2 . Neste sentido, alguns estudos foram realizados com objetivo de estimar a quantidade e identificar estratégias de redução no uso da terra pela bovinocultura de corte.

Cardoso et al. (2016) reportaram a necessidade de 23 a 157 m^2 . kg PC^{-1} em sistemas de produção de bovinos de corte na região do Brasil Central. O menor uso da terra ocorreu no sistema mais intensivo em função da melhora na produção e

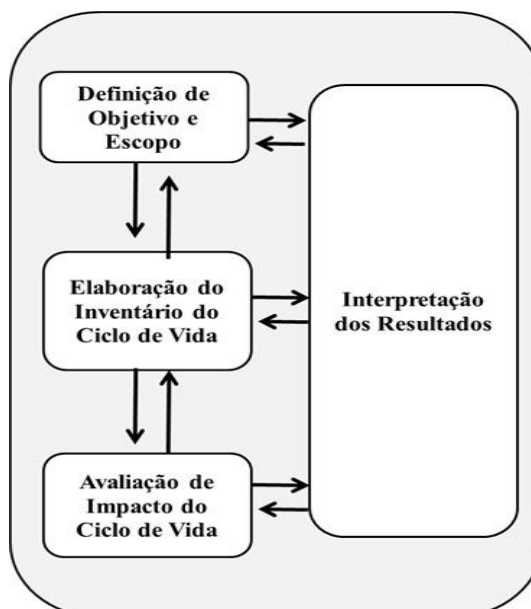
qualidade da forragem, da suplementação e terminação em confinamento. No sistema mais extensivo, o maior uso da terra foi devido à baixa taxa de lotação das pastagens (UA. ha^{-1}) e baixo desempenho dos bovinos. Dick et al. (2015) mostraram que é preciso de 21 a 235 m^2 . kg PC^{-1} em sistemas de produção de bovinos de corte no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os dois sistemas avaliados foram a pasto, entretanto no mais intensivo houve maior qualidade, produção e eficiência na utilização da forragem, o qual conferiu maior desempenho aos bovinos e maior taxa de lotação das pastagens, e conseqüentemente, maior produtividade.

O uso da terra depende do desempenho dos bovinos e principalmente do nível de eficiência na produção e utilização da forragem. A diferença de região climática, genética dos animais e particularidades dos sistemas de produção dificulta a comparação entre os trabalhos mostrados acima. No entanto, em ambos, o efeito da intensificação no uso da terra foi o mesmo. Houve aumento simultâneo na taxa de lotação e desempenho dos bovinos, que gerou maior produtividade. Dessa maneira, produzir com eficiência na utilização dos recursos, principalmente forrageiros é fundamental para reduzir o uso da terra.

1.2.6. Avaliação de Ciclo de Vida

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método de gestão ambiental que segue as indicações técnicas das ISO 14040 (2009) e ISO 14044 (2014). Esta metodologia possibilita avaliar o impacto ambiental de um produto durante o seu ciclo de vida, bem como, na identificação de oportunidades de melhora nos aspectos ambientais e na tomada de decisão. Na ACV podem ser empregados três tipos de sistema: *Cradle-to-grave* (Do berço ao túmulo), abrange todos os processos desde a aquisição da matéria prima até o descarte final dos resíduos; *Cradle-to-gate* (Do berço à porteira), que inicia com a aquisição da matéria prima e termina no “portão de fábrica” e *Gate-to-gate* (Da porteira a porteira), quando o avaliador determina qual a parte do ciclo de vida do produto será avaliado.

A maioria dos estudos de pegada de carbono da bovinocultura de corte tem utilizado o sistema *Cradle-to-gate* (Beauchemin et al., 2010; Rotz et al., 2019; D’Aurea et al., 2021). Este sistema possibilita quantificar as emissões relacionadas ao sistema de produção “setor primário”, pois o ponto final do estudo é quando o animal está pronto para abate. A ACV é composta por quatro fases (Figura 01):



Fonte: ISO, (2009)

Figura 01. Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida.

1) Definição do Objetivo e Escopo – Nesta etapa se define a resposta que se quer obter com o estudo e a definição das:

“*Categorias de Impacto*” - É o tipo de impacto ao meio ambiente que será avaliado, podendo ser mudanças climáticas, acidificação potencial (Ogino et al., 2007), uso da terra (Cardoso et al., 2016), dentre outros;

“*Limites do Sistema*” - Determinam quais unidades de processos serão incluídas na avaliação, como os processos biológicos relacionados aos animais, manejo das excretas e processos operacionais (Figura 02) dentro de uma propriedade (Rotz et al., 2019);

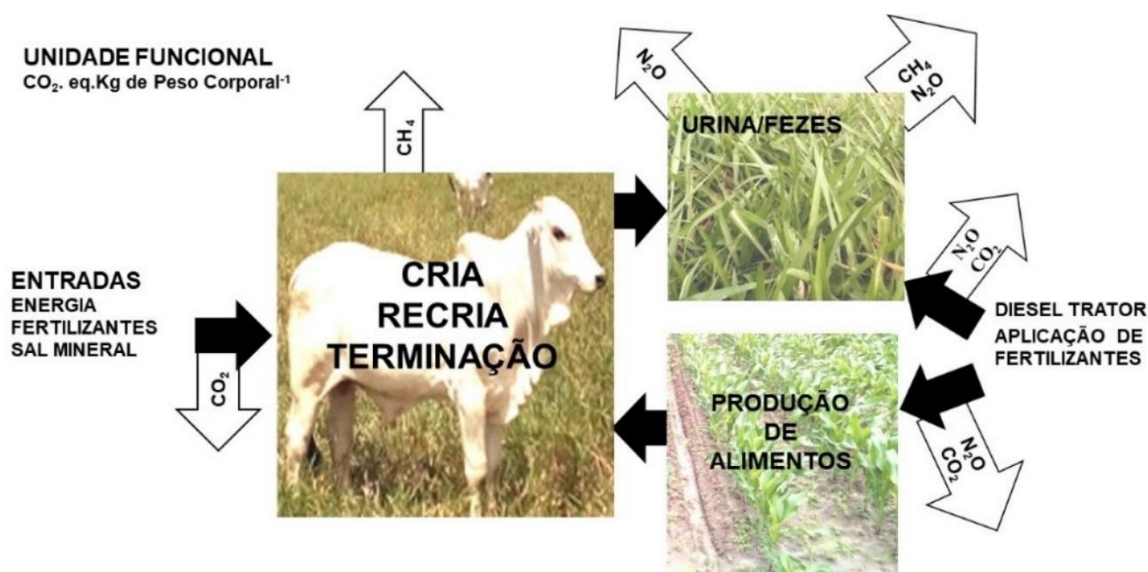


Figura 02. Fonte das emissões e limites do sistema

“*Unidade Funcional*” - É a referência que os fluxos de entradas e saídas do sistema serão relacionados. Normalmente as emissões de GEE são representadas como pegada de carbono, $\text{CO}_{2\text{eq. kg PC}^{-1}}$ (D'Aurea et al., 2021) ou em $\text{CO}_{2\text{eq. kg}}$ de carcaça (Cardoso et al., 2016);

“*Abrangência Temporal e Geográfica*” - Consiste numa delimitação física da área e escala de tempo a ser abrangida no estudo. No trabalho de Beauchemin et al. (2010) foi avaliado a pegada de carbono do sistema de produção de gado de corte no oeste do Canadá. Ruviero et al. (2015) calcularam a pegada de carbono de diferentes sistemas de produção de bovinos de corte no Rio Grande do Sul, Brasil;

“*Tecnologia Empregada*” - Se refere a qual ou quais formas de gerar um produto. Trabalhos que quantificaram pegada de carbono da bovinocultura de corte, mediram diferentes sistemas de produção, como o orgânico (Buratti et al., 2017) e com diferentes níveis de intensificação (Cardoso et al., 2016).

“*Qualidade dos Dados*” - Indica a origem dos dados que serão utilizados para avaliar o desempenho ambiental do produto, podendo ser de origem primária, quando os dados são coletados a campo ou de origem secundária, quando se utilizam dados da literatura e de órgãos nacionais. D'Aurea et al. (2021) estimaram a pegada de carbono de 17 fazendas de bovinos de corte. Cardoso et al. (2016), quantificaram a pegada de carbono de níveis de intensificação da pecuária de corte, com base em dados de artigos e órgãos nacionais.

De posse destas informações, faz-se a montagem do sistema de produção. Os animais são organizados por categoria, com os índices zootécnicos e duração de cada categoria para facilitar a estimativa da emissão dos GEE (Tabela 01).

Tabela 01. Características de rebanhos conforme a fase de criação.

Categoria	Quantidade	Peso Corporal	Duração
Touros	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Vacas	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Bezerros	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Novilhos	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Novilhas	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Machos	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias
Fêmeas	Nº de cabeças	PCi (kg) – PCf(kg)	Nº de dias

Legenda: **PCi** = Peso Corporal inicial; **PCf** = Peso Corporal final; **Nº** = Número

2) Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida – Envolve a coleta dos dados, para calcular as entradas e saídas do sistema (ISO, 2009). Os dados são coletados de cada processo incluso nos limites do sistema (Figura 02). A metodologia mais utilizada para calcular a emissões de CH₄ e N₂O da pecuária de corte é a Tier 2, descrita no IPCC (2019), com a utilização de fatores de emissão nacional sempre que possível (D'Aurea et al., 2021).

O cálculo para estimativa da quantidade emitida de CH₄ entérico consiste na obtenção do fator de emissão para cada categoria animal, levando em consideração a energia bruta consumida e o Y_m. De acordo com o IPCC (2019), o Y_m para bovinos varia de 3% para animais com dietas de elevada proporção de grãos, até 7%, para animais com grande quantidade de forragem na dieta. Trabalhos nacionais tem como valor médio de Y_m de 3,4% para animais em confinamento (De Oliveira et al., 2007; Ribeiro et al., 2016; Rossi et al., 2017) e 6,6% para animais a pasto (Koscheck et al., 2020; Hoffmann et al., 2021; Lima et al., 2022; Teobaldo et al., 2022).

Tabela 02. Entradas para calcular as emissões de metano e óxido nitroso.

Gases	Entradas para realização dos cálculos	Referência
CH ₄ entérico	Peso Corporal do Animal; GMD; Duração do Período; Consumo de Energia Bruta; Fator de Conversão de CH ₄ ; Quantidade de Energia do CH ₄ .	Tier 2 - IPCC (2019)
CH ₄ das fezes	CMS; Digestibilidade do Alimento Consumido; Fator de Emissão para CH ₄ das Fezes.	Tier 2 - IPCC (2019)
N ₂ O das fezes e da urina ¹	CMS; Teor de N do Alimento; Quantidade de N Excretado nas Fezes; Quantidade de N Excretado na Urina; Fatores de Emissão das Fezes e da Urina pra N ₂ O e NH ₃ .	Adaptado do Tier 2 - IPCC (2019)

Legenda: N – Nitrogênio; ¹O N₂O apresenta fator de emissão diferentes para fezes e urina dos animais, por este motivo, a quantidade de N excretada nas fezes e na urina devem ser calculadas separadamente.

O fator de emissão do CH_4 proveniente das fezes pode ser calculado a partir da quantidade de sólidos voláteis (SV) excretados pelos animais, a capacidade máxima de produção de CH_4 (B_0) e fator de conversão de CH_4 (FCM) de acordo com o sistema de manejo das fezes e região climática (IPCC, 2019). Bovinos na América Latina, com fezes depositadas em pastagens, o IPCC (2019) indica que a quantidade de CH_4 emitida é de $1,0 \text{ kg.cab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Trabalhos nacionais sugerem que este valor é de $0,7 \text{ kg.cab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020).

A quantificação das emissões de N_2O é realizada com base na quantidade de N excretada pelos bovinos. De acordo com o IPCC, 2% do N excretado é convertido a N_2O de forma direta, 20% é volatilizado na forma de amônia (NH_3) e deste valor, 1% é convertido em N_2O , sendo esta perda de maneira indireta. Embora o IPCC considere as emissões de N_2O das excretas de forma conjunta, a quantidade emitida proveniente da urina é superior em relação às fezes (Cardoso et al., 2019), devido ao N inorgânico presente na urina ser mais prontamente metabolizável em comparação ao N predominantemente orgânico das fezes (BR-CORTE, 2016). Estudos conduzidos no Brasil Central reportaram que a emissão direta de N_2O da urina foi de 0,6% e das fezes de 0,2% (Lessa et al., 2014; Cardoso et al., 2019; Bretas et al., 2020). Estes autores também mostraram que perdas de N na forma de NH_3 foi de 14,7% provenientes da urina e 4,1% das fezes.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados nas pastagens também é uma fonte de emissão de N_2O , o IPCC indica que 1,1% do N aplicado na forma de uréia é convertido de maneira direta em N_2O e 14,2% é perdido na forma de NH_3 . No trabalho de Cardoso et al. (2019) realizado no Brasil Central, estes valores foram de 0,9% e 16,9%, no que se refere a emissão direta de N_2O e perdas de NH_3 , respectivamente.

A quantificação das emissões de CO_2 é feita com os fatores de emissão indicados na literatura, referente aos processos que contribuem com produção deste gás. Na bovinocultura de corte, a produção de fertilizantes, calcário, suplementos, gasto de energia são as principais fontes de emissão de CO_2 (Cardoso et al., 2016). Ledgard et al. (2011) reportaram a emissão de 3,9, 2,7 e 1,1 kg de CO_2 decorrente da produção de 1 kg de nitrogênio, 1 kg de fósforo e 1 kg de potássio, respectivamente. Na produção de 1 kg de calcário são emitidos 0,5 kg de CO_2 (IPCC, 2019). A fabricação de 1 kg de suplemento gera aproximadamente 0,2 kg de CO_2 (Cardoso et

al., 2016) e de acordo com o BEN (2021) são emitidos 78 kg de CO₂ por MW.h⁻¹ de energia elétrica.

O uso da terra é determinado com base no tamanho do efetivo, consumo de alimento deste rebanho, bem como a produção das pastagens e lavouras na região em estudo (Beauchemin et al., 2010). O consumo dos animais pode ser estimado pelas equações sugeridas no BR-CORTE (2016). A produtividade média de uma pastagem de *Urochloa spp* é de 11 ton de MS. ha⁻¹. ano⁻¹ (Ruggieri et al., 2020) e a produtividade média do milho e da soja no Brasil Central em 2020 foi de 5.6 e 3.3 ton.ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2021). Com base nestes valores e a quantidade destes a serem fornecidas aos bovinos, se determina a área total necessária (Cardoso et al., 2016).

3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida – Nesta etapa se realiza a associação dos fluxos estimados na fase anterior à sua categoria de impacto (ISO, 2014). As emissões de GEE são reportadas como pegada de carbono, em kg de CO_{2eq}. kg de PC⁻¹. O processo de obtenção do CO_{2eq}, consiste na soma da quantidade emitida e fator de conversão de cada gás, de acordo o potencial de aquecimento global. Normalmente utiliza-se um horizonte de 100 anos, CO₂ = 1, CH₄ = 27,2 e N₂O = 273 (IPCC, 2021).

$$\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente} = (\text{CO}_2 \times 1) + (\text{CH}_4 \times 27,2) + (\text{N}_2\text{O} \times 273)$$

Sendo: CO₂ = Quantidade emitida de dióxido de carbono; CH₄ = Quantidade emitida de metano; N₂O = Quantidade emitida de óxido nitroso.

O valor de CO_{2eq} é então, associado ao ganho de peso dos animais (D'Aurea et al., 2021) ou a produção de carcaça (Cardoso et al., 2016). Os resultados para uso da terra são reportados como a quantidade de m² necessários para o ganho de 1 kg de PC ou de 1 kg de carcaça (Cardoso et al., 2016), levando em consideração á área de pastagem, de lavoura e ganho de peso dos animais.

4) Interpretação dos resultados – Realiza-se a discussão dos dados obtidos com objetivo de identificar gargalos e estratégias que possam melhorar o desempenho ambiental de um produto (Ogino et al., 2007). Na bovinocultura de corte o objetivo é identificar qual a forma de produzir que resulta em menor pegada de carbono e uso da terra. Normalmente os menores valores referentes a estas categorias de impacto são observados em sistemas mais intensivos de produção (Ruviaro et al., 2015). A principal fonte de emissão é a fase cria (Beauchemin et al., 2010; D'Aurea et al., 2021). O aumento no desempenho reprodutivo das vacas e do peso do bezerro a desmama tem sido recomendado como principal estratégia de redução da pegada de carbono da pecuária de corte (Beauchemin et al., 2010; D'Aurea et al., 2021).

1.3. OBJETIVO

Calcular o impacto da suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono e uso da terra, identificar para cada categoria animal, entre as estratégias de suplementação, aquela que é mais eficaz em reduzir a pegada de carbono, comparar os resultados com outros sistemas de produção de bovinos de corte, informar a representatividade do CH₄, N₂O e CO₂ e a participação relativa da cria, recria e terminação.

1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC (2022) Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil. **Beef REPORT**, p. 72.

Almeida DM, Marcondes MI, Rennó LN, Martins LS, Marquez DEC, Saldarriaga FV, Villadiego FAC, Ortega RM, Moreno DPS, De Moura FH, Cunha CS, Paulino MF (2020) Effects of pre-and post partum supplementation on lactational and reproductive performance of grazing Nellore beef cows. **Animal Production Science**, v. 61, n. 2, p. 101-107.

Barbosa FA, Bicalho FL, Graça DS, Maia Filho GHB, Azevedo HO, Leão JM, Andrade Junior JMC (2016) Ganho compensatório no desempenho e eficiência econômica de novilhos Nelore submetidos a diferentes regimes alimentares. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 182-190.

Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM (2010) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 371-379.

Behrendt K e Weeks P (2017) BY MEAT, Commissioned. How are global and Australian beef producers performing?. **Meat & Livestock Australia**. Retrieved from https://www.mla.com.au/globalassets/mlacorporate/prices--markets/documents/trends-analysis/agribenchmark/revised_mla_agribenchmark-beef-results-report_jan-2017.pdf.

BEN. Relatório Síntese 2021. Balanço Energético Nacional, 72 pages.

BR-CORTE (2016). **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados**: 3ª Ed. – Viçosa (MG): UFV, DZO.

Bretas IL, Paciullo DSC, Alves BJR, Martins MR, Cardoso AS, Lima MA, Rodrigues RAR, Silva FF, Chizzotti FHM (2020) Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106896.

Buratti C, Fantozzi F, Barbanera M, Lascaro E, Chiorri M, Cecchini (2017) Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. **Science of the total environment**, v. 576, p. 129-137.

Cardoso AS, Barbero RP, Romanzini EP, Teobaldo RW, Ongaratto F, Machado MH, Ruggieri AC, Reis RA (2020a) Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in *Brachiaria* Grasslands. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 6656.

Cardoso AS, Berndt A, Leytem A, Alves BJR, De Carvalho INO, Soares LHB, Urquiaga S, Boddey RM (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96.

Cardoso GS, Machado DS, Schumacher LL, Fernandes CA, Antunes DP, Schenkel MS, Rodrigues AZ, Brondani IL (2020b) A meta-analysis of the effects of dietary supplementation in tropical forage-fed cattle. **Semina: Ciências Agrárias (Londrina)**, v. 41, n. 5 Suppl. 1, p. 2381-2389.

Cardoso AS, Oliveira SC, Januszkiewicz ER, Brito LF, Morgado ES, Reis, RA, Ruggieri AC (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for

beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104341.

Carvalho VV, Paulino MF, Detmann E, Valadares Filho SC, Lopes SA, Rennó LN, Sampaio CB, Silva AG (2019) A meta-analysis of the effects of creep-feeding supplementation on performance and nutritional characteristics by beef calves grazing on tropical pastures. **Livestock Science**, v. 227, p. 175-182.

Congio GFS et al (2021) Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127693.

Cooke RF, Cardoso RC, Cerri RLA, Cliff Lamb G, Pohler KG, Riley DG, Vasconcelos JLM (2020) Board Invited Review-Cattle adapted to tropical and subtropical environments (I): social, nutritional, and carcass quality considerations. **Journal of Animal Science**.

Corrêa DCC, Cardoso AS, Ferreira MR, Siniscalchi D, Toniello, AD, Lima GC, Reis RA, Ruggieri AC (2021) Are CH₄, CO₂, and N₂O Emissions from Soil Affected by the Sources and Doses of N in Warm-Season Pasture?. **Atmosphere**, v. 12, n. 6, p. 697.

Costa e Silva LF, Engle TE, Valadares Filho SC, Rotta PP, Villadiego FAC, Silva FAS, Martins EC, Silva LHR, Paulino MF (2015) Nellore cows and their calves during the lactation period: performance, intake, milk composition, and total apparent digestibility. **Tropical animal health and production**, v. 47, n. 4, p. 735-741.

Cusack DF, Kazanski CE, Hedgpeth A, Chow K, Cordeiro AL, Karpman J, Ryals R (2021) Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. **Global change biology**, v. 27, n. 9, p. 1721-1736.

Da Silva RMG, Cabral LS, Abreu JG, Zervoudakis JT, Souza AL, Ochove VCC, Miranda L, Oliveira IS (2008) Níveis de uréia em suplementos múltiplos para bovinos de corte durante a época seca. **Revista brasileira de saúde e produção animal**, v. 9, n. 3.

Da Silva A, Paulino MF, Amorim L, Rennó L, Detmann E, Moura F, Manso M, Silva e Paiva P, Ortega R, Melo L (2017) Performance, endocrine, metabolic, and reproductive responses of Nellore heifers submitted to different supplementation levels pre-and post-weaning. **Tropical Animal Health & Production**, v. 49, n. 4.

D'Aurea AP, Cardoso AS, Guimarães YSR, Fernandes LB, Ferreira LE, Reis RA (2021) Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7207.

De Almeida DM, Da Silva AL, Paulino MF, Da Silva TE, Detmann E, Marcondes MI (2022) Performance of *Bos indicus* beef cattle supplemented with mineral or with concentrates in tropical *Urochloa decumbens* pastures: A meta-regression approach. **Animal Feed Science and Technology**, v. 283, p. 115178.

De Almeida R, Medeiros SR, Lanna DPD (2010) Crescimento compensatório e seu efeito na eficiência. In: PÍRES, A. V. **Bovinocultura de Corte**. Piracicaba-SP: FEALQ. v. 1, cap. Capítulo 10, p. 171-182. ISBN 978-85-7133-069-6.

De Andrade TS, Albertini TZ, Barioni LG, De Medeiros SR, Millen DD, Dos Santos ACR, Goulart RS, Lanna DPD (2020) Perception of consultants, feedlot owners, and packers regarding management and marketing decisions on feedlots: a national survey in Brazil (Part II). **Canadian Journal of Animal Science**, v. 100, n. 4, p. 759-770.

Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality and animal performance in tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9.

De Paula NF, Paulino MF, Couto VRM, Detmann E, Maciel IFS, Barros LV, Lopes SA, Valente EEL, Zervoudakis JT, Martins LS (2019) Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6 Supl 2, p. 3233-3248.

De Oliveira SG, Berchielli TT, Pedreira MS, Primavesi O, Frighetto R, Lima MA (2007) 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.

Detmann E, Valente EEL, Batista ED, Huhtanen P (2014) An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153.

Dick M, Da Silva MA, Dewes H (2015) Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 426-434.

D'Occhio MJ, Baruselli PS, Campanile G (2019) Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review. **Theriogenology**, v. 125, p. 277-284.

Ferrari AC, Leite RG, Fonseca NVB, Romanzini EP, Cardoso AS, Barbero RP, Costa DFA, Ruggieri AC, Reis RA (2021) Performance, nutrient use, and methanogenesis of Nellore cattle on a continuous grazing system of *Urochloa brizantha* and fed supplement types varying on protein and energy sources. **Livestock Science**, v. 253, p. 104716.

Fiorentini G, Santana MO, Messana JD, Valente ALS, Häter CJ, Rabelo CHS, Barbero RP, Lanna DPD, Reis RA, Berchielli TT (2018) Effect of lipid sources on fatty acid profiles of meat from pasture-and feedlot-finished Nellore bulls. **Livestock Science**, v. 211, p. 52-60.

Haddad CM e Mendes CQ (2010) Manejo da estação de monta, das vacas e das crias. In: PÍRES, A. V. **Bovinocultura de Corte**. Piracicaba-SP: FEALQ. v. 1, cap. Capítulo 7, p. 129-142. ISBN 978-85-7133-069-6.

Hoffmann A, Cardoso AS, Fonseca NVB, Romanzini EP, Siniscalchi D, Berndt A, Ruggieri AC, Reis RA (2021) Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH₄ emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. **Animal**, p. 100155.

IBGE (2021) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Área, produção e rendimento médio – Confronto das safras 2020 e das estimativas para 2021. Access in December 8, 2021. Disponible in <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>

IPCC, (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2019) Refinement the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Emissions From Livestock and Manure Management. **Forestry**, v. 4, p.87.

ISO (2009) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abnt Nbr Iso 14040 Gestão ambiental – Avaliação de ciclo de vida – Princípios e estrutura. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1-22.

ISO (2014). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Abnt Nbr Iso 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1 – 52.

Koscheck JFW, Romanzini EP, Barbero RP, Delevatti LM, Ferrari AC, Mulliniks JT, Mousquer CJ, Berchielli TT, Reis RA (2020) How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation?. **Animal Production Science**, v. 60, n. 9, p. 1201-1209.

Lana Ferreira MF, Rennó LN, Detmann E, Paulino MF, Valadares Filho SC, Moreira SS, Martins HC, De Oliveira BIC, Marquez JA, Cidrini IP (2020) Performance, metabolic and hormonal responses of grazing Nellore cows to an energy-protein supplementation during the pre-partum phase. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13.

Ledgard SF, Boyes M, Brentrup F (2011) Life cycle assessment of local and imported fertilisers used on New Zealand farms. **Ministry of Agriculture and Forestry**.

Lessa ACR, Madari BE, Paredes DS, Boddey RM, Urquiaga S, Jantalia CP, Alves BJR (2014) Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 104-111.

Lima L, Ongaratto F, Fernandes M, Cardoso A, Lage J, Silva L, Reis R, Malheiros E (2022) Response of Pasture Nitrogen Fertilization on Greenhouse Gas Emission and Net Protein Contribution of Nellore Young Bulls. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3173.

MAPA (2004). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 12 de 30 de Novembro de 2004. Regulamento Técnico Sobre Fixação de Parâmetros e das Características Mínimas dos Suplementos Destinados a Bovinos. Brasília, DF, 30/11/ 2004.

MAPA (2009). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 15 de 26 de maio de 2009. Regulamento de Registro dos Estabelecimentos e dos Produtos Destinados à Alimentação Animal. Brasília, DF, 26/05/2009. Seção 1, p. 1-8.

Martins LS, Paulino MF, Marcondes MI, Rennó LN, Almeida DM, Lopes AS, Marquez DEC, Manso MR, Da Silva AG, Valente EEL (2016) Cottonseed meal as a suitable replacement for soybean meal in supplements fed to Nellore heifers grazing *Brachiaria decumbens*. **Animal Production Science**, v. 57, n. 9, p. 1893-1898.

MCTI (2021). Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

Millen DD e Arrigoni MB (2013) Drivers of change in animal protein production systems: Changes from 'traditional' to 'modern' beef cattle production systems in Brazil. **Animal Frontiers**, v. 3, n. 3, p. 56-60.

Ogino A, Orito H, Shimada K, Hirooka H (2007) Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method. **Animal Science Journal**, v. 78, n. 4, p. 424-432.

Oliveira LOF, Saliba EOS, Rodriguez NM, Gonçalves LC, Borges I, Amaral TB (2004) Consumo e digestibilidade de novilhos Nelore sob pastagem suplementados com misturas múltiplas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56, p. 61-68.

Ongaratto F, Fernandes, MHMR, Dallantonia, EE, Lima LO, Do Val GA, Cardoso AS, Rigobello IL, Campos JAA, Reis RA, Ruggieri AC, Malheiros EB (2021) Intensive Production and Management of Marandu Palisade grass (*Urochloa brizantha* 'Marandu') Accelerates Leaf Turnover but Does Not Change Herbage Mass. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1846.

Poppi DP e McLennan SR (1995) Protein and energy utilization by ruminants at pasture. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 1, p. 278-290.

Poppi DP, Quigley SP, Da Silva TACC, Mc Lennan SR (2018) Challenges of beef cattle production from tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47.

Portes JV, Menezes GRO, Macneil MD, Da Silva LOC, Gondo A, Neto JB (2020) Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. **Livestock Science**, v. 242, p. 104309.

Reis RA, Ruggieri AC, Casagrande DR, Páscoa AG (2009) Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. SPE, p. 147-159.

Ribeiro AF, Messana JD, José Neto A, Lage JF, Fiorentini G, Vieira BR, Berchielli TT (2016) Enteric methane emissions, intake, and performance of young Nellore bulls fed different sources of forage in concentrate-rich diets containing crude glycerine. **Animal Production Science**, v. 58, n. 3, p. 517-522.

Rodrigues LM, Schoonmaker JP, Resende FD, Siqueira GR, Machado Neto OR, Gionbelli MP, Gionbelli TRS, Ladeira MM (2020) Effects of protein supplementation on

Nellore cows' reproductive performance, growth, myogenesis, lipogenesis and intestine development of the progeny. **Animal Production Science**.

Rossi LG, Fiorentini G, Vieira BR, José Neto A, Messana JD, Malheiros EB, Berchielli TT (2017) Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance, and methane production of Nellore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 39-47.

Rotz CA, Asem-Hiablie S, Place S, Thoma G (2019) Environmental footprints of beef cattle production in the United States. **Agricultural Systems**, v. 169, p. 1-13.

Ruggieri AC e Cardoso AS (2017) Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 1-2.

Ruggieri AC, Cardoso AS, Ongaratto F, Casagrande DR, Barbero RP, Brito LF, Azenha MV, Oliveira AA, Koscheck JFW, Reis RA (2020) Grazing Intensity Impacts on Herbage Mass, Sward Structure, Greenhouse Gas Emissions, and Animal Performance: Analysis of Brachiaria Pastureland. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1750.

Ruviaro CF, De Léis CM, Lampert VN, Barcellos JOJ, Dewes H (2015) Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 435-443.

Sartori R e Guardieiro MM (2010) Fatores nutricionais associados à reprodução da fêmea bovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 422-432.

Scasta JD, Mount D, Hauptman B, Jorns T (2019) **Beef Cow Size: Industry Trends, Economics, and Implications for Grazing Wyoming Rangelands**. University of Wyoming Extension.

Searchinger T, Herrero M, Yan W, Wang J, Dumas P, Beauchemin K, Kebreab E (2021) Opportunities to Reduce Methane Emissions from Global Agriculture.

Silva RO, Barioni LG, Moran D (2021a) Fire, deforestation, and livestock: When the smoke clears. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104949.

Silva TACC, Quigley SP, Kidd LJ, Anderson ST, McLennan SR, Poppi DP (2021b) Effect of a high crude protein content diet during energy restriction and re-alimentation on animal performance, skeletal growth and metabolism of bone tissue in two genotypes of cattle. *Plos one*, v. 16, n. 2, p. e0247718, 2021.

Teobaldo RW, Cardoso AS, Brito TR, Leite RG, Romanzini EP, Granja-Salcedo YT, Reis RA (2022) Response of Phytogenic Additives on Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Nellore Bulls Raised in Grassland. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9395.

Valente ALS (2015) **Marandu grass management and supplementation on performance and methane mitigation of Nellore bulls**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

WRI (2021) Top 10 Greenhouse Gas Emitters: 2016. **World Resources Institute**, March 28, 2021. Access in December 8, 2021. Disponíble in <https://www.wri.org/data/top-10-greenhouse-gas-emitters-2016#>

2. CAPÍTULO 2 – Impacto de estratégias de suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono

RESUMO – O objetivo com a realização deste estudo foi estimar a pegada de carbono de estratégias de suplementação de cada categoria de bovinos de corte em cada época do ano. A avaliação do ciclo de vida foi adotada para estimar a emissão de metano (CH_4) entérico e das fezes e óxido nitroso (N_2O) da urina e das fezes, de acordo a metodologia de cálculo, Tier 2 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com fatores de emissão nacional. A emissão de dióxido de carbono (CO_2) proveniente dos gastos com energia elétrica, confecção de suplementos e produção de alimentos para animais em confinamento foi realizada com base em fatores de emissão descritos na literatura. A unidade funcional adotada foi a pegada de carbono, kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de Peso Corporal⁻¹ (PC). As categorias avaliadas foram: Vacas, bezerros, bezerras, machos de sobreano, fêmeas de sobreano, machos não castrados e fêmeas. As estratégias de suplementação elevaram o ganho de peso médio diário (GMD) e ao mesmo tempo reduziram a pegada de carbono, que variou de 9,6 a 11,3 com as vacas; 3,7 a 5,2 com os bezerros; 3,9 a 4,4 com as bezerras; 3,9 a 30,8 com os machos de sobreano; 5,9 a 13,3 com as fêmeas de sobreano e de 4,0 a 22,7 com os machos não castrados. A única estratégia de terminação para as fêmeas foi em confinamento, que gerou 4,3 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC⁻¹. Em todas as situações o CH_4 foi o gás mais representativo. Na época das águas, o N_2O foi o segundo gás que mais contribuiu com a pegada de carbono e na época da seca, foi o CO_2 . A suplementação de bovinos de corte é eficaz na redução da pegada de carbono.

Palavras-chave: gases de efeito estufa, metano, pecuária de corte, pegada de carbono, suplementação

2.1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, 196 milhões de cabeças, que são criadas em 163 milhões de hectares de pastagens (ABIEC, 2022). A produção de kg de peso corporal (PC) por hectare cresceu 35,0% nos últimos 20 anos, tendo alcançado 119 kg PC. ha⁻¹. ano⁻¹ em 2021 (ABIEC, 2022). Mesmo com um crescimento relativo expressivo, este valor é apenas 12,5 % do potencial de produtividade que tem sido reportado apenas no período das águas (Delevatti et al., 2019). Este fato coloca o Brasil em destaque, com potencial de produção de carne bovina a baixo custo para atender a crescente demanda global por este produto (Machado et al., 2022).

No processo de produção de bovinos ocorre a emissão de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂), que são gases de efeito estufa (GEE; Rotz et al., 2019). Uma única unidade que representa a emissão de CH₄, N₂O e CO₂ é o dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). Ao associar o CO_{2eq} ao ganho de peso dos animais se obtém a pegada de carbono (kg de CO_{2eq}. kg PC⁻¹), sendo essa a forma mais comum de reportar a emissão de GEE pela bovinocultura de corte.

Dessa maneira se faz necessário, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade e diminuir a pegada de carbono da pecuária de corte no Brasil (Cardoso et al., 2020). A suplementação de bovinos em regime de pastejo é uma estratégia comprovada no aumento na taxa de natalidade do rebanho (Almeida et al., 2020) e no ganho de peso médio diário (GMD) dos animais em crescimento (De Paula et al., 2019). No entanto, ainda não foi avaliado o impacto de estratégias de suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono. Sendo esperado que ocorra redução, devido o aumento da eficiência na pecuária de corte reduzir a pegada de carbono (Cardoso et al., 2016; Buratti et al., 2017).

A bovinocultura de corte no Brasil é conduzida em fases de produção, as quais podem ser desenvolvidas de forma isolada ou combinadas (Millen e Arrigoni, 2013). Em cada fase há particularidades e objetivos distintos, além de serem compostas por diferentes categorias animal. Outra característica marcante da pecuária de corte brasileira são as duas principais épocas do ano, a das águas e da seca (Lessa et al.,

2014). Estas têm influência direta na qualidade do pasto, o alimento primário para os bovinos. Como o objetivo da suplementação é complementar a deficiência de nutrientes do pasto com objetivo de atender determinado nível de exigência do animal (Detmann et al., 2014), tanto a categoria, como a época do ano devem ser levados em consideração.

O objetivo com este estudo foi calcular o impacto de estratégias de suplementação de cada categoria de bovinos de corte, em cada época do ano, na pegada de carbono. Identificar dentre as estratégias de suplementação aquelas que são mais eficazes na redução da pegada de carbono e reportar a participação relativa do CH₄, N₂O e CO₂.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada foi a avaliação do ciclo de vida.

1) Definição do Objetivo e Escopo

A categoria de impacto avaliada foi mudanças climáticas, pois a emissão de GEE é um dos principais impactos da pecuária ao meio ambiente (Cardoso et al., 2020). A estratégia utilizada foi a “*gate-to-gate*”, onde foram analisadas em cada época do ano as seguintes categorias:

- Vacas – Fêmea adulta em reprodução, apenas vacas multíparas;
- Bezerros – Macho até os 7 meses de idade;
- Bezerras – Fêmea até os 7 meses de idade;
- Machos de sobreano – Macho dos 8 meses até 380 kg ou 19 meses;
- Fêmeas de sobreano – Fêmea dos 8 meses até 360 kg ou 19 meses;
- Machos não castrados – Macho dos 380 aos 500 kg
- Fêmeas – Fêmea dos 360 aos 455 kg.

Foram computadas a quantidade emitida de CH₄ entérico e das fezes, emissões de N₂O das fezes e da urina e o CO₂ fóssil gerado pela fabricação de suplementos e

alimentos para os animais, bem como dos gastos com energia elétrica (Figura 01). Não foi estimada a emissão de N_2O de fertilizantes nitrogenados, devido a dificuldade de alocar as emissões entre as épocas do ano. Neste estudo também não foi levado em consideração o balanço de CO_2 no solo, pois este foi considerado em equilíbrio dinâmico. A unidade funcional (UF) para expressar a emissão de GEE foi a pegada de carbono, kg de CO_{2eq} . kg de PC^{-1} conforme indicado por D'Aurea et al. (2021).

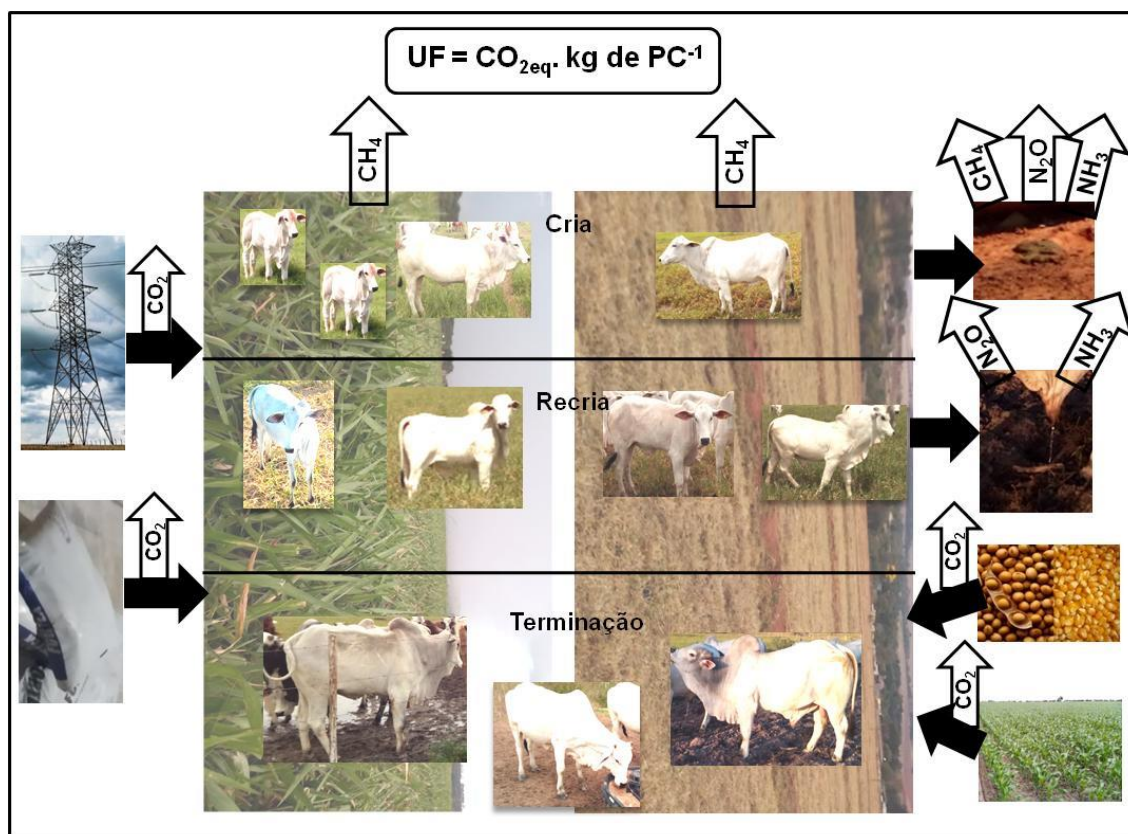


Figura 01. Limites do sistema e unidade funcional

Os dados utilizados foram de origem secundária, buscados em revisão bibliográfica de trabalhos realizados com o fornecimento de suplementos a bovinos da raça Nelore, que é a mais abundante nacionalmente (D'Aurea et al., 2021). A região em estudo foi a do Brasil Central (Figura 02), a mais representativa em produção de carne e efetivo bovino (ABIEC, 2022). Além da suplementação em pastejo, também foi considerada a terminação em confinamento, pois esta é uma importante estratégia de sistemas intensivos no Brasil (De Andrade et al., 2020). Após a coleta dos dados, alguns critérios foram utilizados com objetivo de diminuir a

variação dos resultados.



Fonte: IBGE (2002)

Figura 02. Mapa de Climas do Brasil

De acordo com De Almeida et al. (2022), o teor de PB da forragem é o um dos principais fatores de variação no GMD de bovinos a pasto e resposta destes animais a suplementação. Já foi reportado também a variação na emissão de CH_4 entérico (Congio et al., 2018) e N_2O (Congio et al., 2019) em função de diferentes manejos do pasto. Dessa maneira, foram incluídos apenas estudos que o método de pastejo tenha sido em lotação contínua com gramíneas do gênero *Urochloa spp.*, a forrageira predominante no Brasil (Cardoso et al., 2020). Os teores de PB e FDNcp da mesma época do ano foram considerados o mesmo em cada categoria animal (Tabela 01), sendo a média dos trabalhos revisados. No confinamento foram considerados apenas trabalhos com silagem de milho, que é o principal volumoso para este tipo de terminação (Pinto e Millen 2018).

Tabela 01: Valor nutritivo da forragem para cada fase de produção

Fase de Produção	Época da Seca		Época das Águas	
	PB (%)	FDNcp (%)	PB (%)	FDNcp (%)
Cria	7,1	67,2	10,5	57,5
Recria				
Machos de sobreano	5,3	68,3	13,2	61,0
Fêmeas de sobreano	7,5	68,5	11,1	63,2
Terminação	5,7	78,4 ¹	11,3	54,7
Silagem de milho ²	6,6	53,9		

Legenda: PB = Proteína bruta; FDNcp = Fibra insolúvel em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína;
¹= FDN (Fibra insolúvel em detergente neutro); ² = Os valores independem da época do ano.

Os ingredientes mais utilizados para compor os suplementos de bovinos de corte no Brasil são o milho e soja (D'Aurea et al., 2021), e como em muitos dos estudos selecionados houve a utilização de sorgo, foram incluídos apenas trabalhos que a composição dos suplementos tenha sido destes ingredientes. Mesmo com opções de outros cereais e sub-produtos regionais para confecção de suplementos no Brasil, não seria possível a sua aplicação de forma mais abrangente (Detmann et al., 2014).

Os tipos de suplemento foram classificados de acordo a Instrução Normativa 12/11 (MAPA, 2004): suplemento proteico - Possui pelo menos 20% de PB e menos que 100 g de Nutrientes digestíveis totais (NDT). 100 kg de PC⁻¹. Proteico-energético - Possui pelo menos 20% de PB e mais que 100 g de NDT. 100 kg de PC⁻¹. Mesmo não classificado pelo MAPA, foi considerado também o suplemento energético, o qual possui menos de 20% de PB. Quanto a quantidade fornecida aos bovinos, as estratégias de suplementação foram consideradas de baixo consumo, até 0,3% do PC, de médio consumo de 0,31 até 0,6% do PC, e de alto consumo, maior que 0,6% do PC (De Paula et al., 2019).

O PC dos bovinos tem forte influência no CMS, que por sua vez tem alta relação com emissão de CH₄ entérico (Congio et al., 2021) e das fezes, bem como de NH₃ e N₂O provenientes da urina e das fezes (Cardoso et al., 2016). Para evitar que o impacto dessa variável confundisse o efeito do suplemento, o peso dos animais no início dos períodos de suplementação foi considerado o mesmo.

O GMD de animais que já alcançaram a maturidade é considerado igual à 0 (IPCC, 2019), portanto para as vacas, considerou o impacto da suplementação na taxa de natalidade. Em sistemas de produção com estação de monta convencional no Brasil Central, o parto das vacas ocorre na transição seca/águas. Nos trabalhos revisados, o período médio de suplementação das vacas foi de 90 dias, antes ou depois do parto (Almeida et al., 2020; Lana Ferreira et al., 2020; Rodrigues et al., 2020). Para que a comparação fosse coerente, em função da qualidade do pasto, determinou-se a duração do período das vacas de 180 dias (Tabela 02).

Foi considerado para as vacas que receberam suplementação por 90 dias antes do parto, o fornecimento de mistura mineral por 90 dias depois do parto. O inverso ocorreu com as vacas que receberam suplementação depois do parto. A suplementação dos bezerros e bezerras em *creep-feeding* aconteceu apenas na época das águas, pois os animais que nascem de estação de monta convencional no Brasil são suplementados neste período, já que a desmama ocorre no início da seca (De Paula et al., 2019). Considerou-se a mesma idade inicial para bezerros e bezerras 3,3 meses. O tempo de suplementação foi de 110 dias, devido a desmama no Brasil ocorrer em média aos 7,0 meses de idade (Portes et al., 2020).

Tabela 02: Indicadores de desempenho de bovinos na fase de cria

Suplementação	Peso inicial e final (kg)	Duração da fase (dias)	Taxa de natalidade (%)	Consumo (% PC)	Consumo de suplemento (% PC)
Vacas					
Mistura Mineral	482	180	61,7	1,6	0,1 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (BC-AP)	482	180	69,9	1,7	0,23
Proteico-energética (BC-DP)	482	180	84,0	1,8	0,21
Bezerros					
			GMD (kg.dia ⁻¹)		
Mistura Mineral	115 -> 191	110	0,695	2,0	0,06 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (MC)	115 -> 211	110	0,874	2,2	0,45
Bezerras					
Mistura Mineral	104 -> 176	110	0,653	2,1	0,06 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (MC)	104 -> 189	110	0,775	2,4	0,48

Legenda: PC = Peso corporal; GMD = Ganho de peso médio diário; AP = Antes do parto; DP = Depois do parto; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo.

A recria iniciou na época da seca. Este período teve duração de 155 dias (Lessa et al., 2014). Os machos e fêmeas de sobreano iniciaram este período com o peso de desmama dos bezerros e bezerras que receberam mistura mineral, 191 e 176 kg, respectivamente (Tabela 03). Ao final da época das seca os machos e fêmeas de sobreano não alcançaram os 380 (De Andrade et al., 2020) e 360 kg (Cardoso et al., 2016), respectivamente, para serem conduzidos a terminação. Portanto a recria continuou na época das águas, com duração de 210 dias (Lessa et al., 2014), ou até os animais alcançarem o peso para iniciar a próxima fase. O peso considerado no início deste período foi o obtido pelos animais que receberam mistura mineral na época seca, 217 para os machos e 200 kg para as fêmeas de sobreano.

Tabela 03: Indicadores de desempenho de bovinos na fase de recria

Suplementação	Peso inicial e final (kg)	Duração da fase (dias)	GMD (kg. dia ⁻¹)	Consumo (% PC)	Consumo de suplemento (% PC)
Machos de sobreano					
Época da Seca					
Mistura Mineral	191 -> 217	155	0,165	1,4	0,08 kg.dia ⁻¹
Proteica (BC)	191 -> 223	155	0,207	1,7	0,15
Energética (MC)	191 -> 274	155	0,535	1,9	0,59
Energética (AC)	191 -> 275	155	0,540	2,0	0,79
Proteico-energética (BC)	191 -> 244	155	0,339	1,8	0,19
Proteico-energética (MC)	191 -> 260	155	0,444	1,7	0,41
Época das Águas					
Mistura Mineral	217 -> 348	210	0,622	2,1	0,08 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (MC)	217 -> 380	172	0,946	2,2	0,49
Fêmeas de sobreano					
Época da Seca					
Mistura Mineral	176 -> 200	155	0,157	1,2	0,08 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (BC)	176 -> 215	155	0,250	2,1	0,30
Proteico-energética (MC)	176 -> 223	155	0,305	2,1	0,31
Proteico-energética (AC)	176 -> 240	155	0,411	1,6	0,62
Época das Águas					
Mistura Mineral	200 -> 269	210	0,327	1,5	0,08 kg.dia ⁻¹
Energética (MC)	200 -> 306	210	0,503	2,3	0,32
Proteico-energética (MC)	200 -> 297	210	0,460	2,3	0,32

Legenda: PC = Peso Corporal; GMD = Ganho de peso médio diário; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo; AC = Alto consumo.

A terminação no Brasil pode ser realizada tanto na época das águas como na época da seca, por isso foi considerado o mesmo peso inicial, independente da época do ano, 380 kg para machos não castrados e 360 kg para as fêmeas (Tabela 04). O tempo de suplementação foi equivalente a duração de cada época ou até os machos não castrados alcançarem 500 (De Andrade et al., 2020) e as fêmeas 455 kg (Portes et al., 2020), que é o peso médio comum para abate de bovinos no Brasil.

Tabela 04: Indicadores de desempenho de bovinos na fase de terminação

Suplementação	Peso inicial e final (kg)	Duração da fase (dias)	GMD (kg. dia ⁻¹)	Consumo (% PC)	Consumo de suplemento (% PC)
Machos não castrados					
Época da Seca					
Mistura Mineral	380 -> 422	155	0,271	1,8	0,1 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (BC)	380 -> 447	155	0,435	2,3	0,21
Época das Águas					
Mistura Mineral	380 -> 500	185	0,650	2,1	0,1 kg.dia ⁻¹
Proteico-energética (MC)	380 -> 500	151	0,797	2,2	0,39
Proteico-energética (AC)	380 -> 500	155	0,776	2,4	0,66
Confinamento	380 -> 500	87	1,378	2,3	1,20
Fêmeas					
Confinamento	360 -> 455	114	0,840	2,3	0,66

Legenda: PC = Peso Corporal; GMD = Ganho de peso médio diário; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo; AC = Alto consumo

2) Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida

A quantidade emitida de CH₄ e N₂O foram estimadas de acordo com a metodologia Tier 2 (IPCC, 2019). O cálculo de CH₄ entérico foi feito com base na energia bruta consumida e o fator de conversão de metano (Y_m) de trabalhos nacionais, 6,6%, para animais criados a pasto (Koscheck et al., 2020; Hoffmann et al., 2021; Lima et al., 2022; Teobaldo et al., 2022) e 3,4, quando os animais são terminados em confinamento (De Oliveira et al., 2007; Ribeiro et al., 2016; Rossi et al., 2017). A estimativa da emissão de CH₄ das fezes foi realizada com fatores de emissão nacional (Tabela 05).

A quantidade de NH₃ volatilizada e N₂O emitido provenientes da urina e fezes dos bovinos, foram calculadas com base em fatores de emissão para a região em estudo (Tabela 05). Como a maioria dos artigos selecionados para este estudo não informaram a quantidade de N excretado na urina e nas fezes, utilizou as equações informadas no BR-CORTE (2016) para realizar estas estimativas.

Tabela 05: Fatores de emissão para metano e óxido nitroso

Gás	Cálculo	Fator de Emissão	Época	Referência
CH ₄ fezes	kg.cabeça ⁻¹	0,0023 kg CH ₄ .dia ⁻¹ 0,0014 kg CH ₄ .dia ⁻¹	Águas Seca	Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020
N ₂ O direto	N ₂ O excretas Excretado pelos animais*FE*(44/28)	Urina 0,01 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Urina 0,0013 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Fezes 0,0017 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Fezes 0,0017 kg N ₂ O.kg N ⁻¹	Águas Seca Águas Seca	Lessa et al. 2014; Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020; Maciel et al. 2021
N ₂ O indireto	N ₂ O excretas N excretado pelos animais*N volatilizado*FE*(44/28)	0,01 kg N ₂ O.kg N volatilizado ⁻¹ Urina N volatilizado = 12,7% N excretado Urina N volatilizado = 17,4% N excretado Fezes N volatilizado = 3,8% N excretado Fezes N volatilizado = 4,6% N excretado	Águas Seca Águas Seca	IPCC, 2019 Lessa et al. 2014; Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020

CH₄ = Metano; N₂O = Óxido Nitroso; N = Nitrogênio; FE = Fator de Emissão.

A emissão de CO₂ fóssil, foi obtida a partir de fatores de emissão indicados na literatura (Tabela 06). De acordo a quantidade usada e a alocação proporcional ao período do ano de cada categoria animal na época das águas ou da seca, obteve-se a quantidade emitida de CO₂.

Tabela 06: Fatores de emissão para dióxido de carbono

Itens	Fator de Emissão	Referência
Energia Elétrica	78 kg CO ₂ .MWh ⁻¹	BEN, 2021
Milho	0,273 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Silagem de milho	0,038 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Soja	0,205 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Suplemento	0,164 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Ureia	0,73 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Ledgard et al. 2011

3) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Obteve-se a pegada de carbono na forma de kg de CO_{2eq}. kg de PC⁻¹ dos bovinos por meio do cálculo do CO_{2eq}, que levou em consideração a quantidade emitida de cada GEE e seu fator de conversão, de acordo o potencial de aquecimento global em um horizonte de 100 anos, CO₂ = 1, CH₄ = 27,2 e N₂O = 273 (IPCC, 2021).

$$\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente} = (\text{CO}_2 \times 1) + (\text{CH}_4 \times 27,2) + (\text{N}_2\text{O} \times 273)$$

CO₂ = Quantidade emitida de dióxido de carbono (CO₂); CH₄ = Quantidade emitida de metano (CH₄); N₂O = Quantidade emitida de óxido nitroso (N₂O).

Em seguida associou este valor ao ganho de peso dos animais, com exceção das vacas, pois estas são animais maduros e o IPCC considera seu GMD igual a zero. Como o objetivo da fase de cria é primeiramente produzir a maior quantidade de bezerros por vaca que entrou em estação de monta, associou o CO_{2eq} emitido pelas vacas à taxa de natalidade e peso a desmama do bezerro que recebeu apenas suplemento mineral:

$$\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente} / (\text{taxa de natalidade} \times \text{peso do bezerro à desmama})$$

2.3. RESULTADOS

O objetivo inicial era buscar trabalhos realizados entre 1990 e 2020, no entanto o artigo mais recente que atendeu aos pré-requisitos deste estudo foi de 2004. A maioria das estratégias encontradas foram do tipo proteico-energética, 14, a segunda foi a suplementação energética, 3 e apenas 1 com o fornecimento de suplemento proteico. Foram encontradas também 2 estratégias de terminação em confinamento. A pegada de carbono dos bovinos que receberam mistura mineral foram considerados como referência na avaliação do efeito da suplementação.

Fase de Cria

A suplementação na fase de cria resultou em menor pegada de carbono, que variou de 11,3 com a mistura mineral a 9,6 com a suplementação depois do parto com as vacas (Tabela 07). A variação para os bezerros foi de 5,2 com a mistura mineral a 3,7 com a suplementação, e com as bezerras de 4,4 com a mistura mineral a 3,9 com a suplementação.

Tabela 07: Pegada de carbono de estratégias de suplementação na fase de cria

Suplementação	Metano	Óxido Nitroso	Dióxido de Carbono	Pegada de Carbono (kg CO _{2eq} . kg PC ⁻¹)
Vacas				
Mistura Mineral	96,7%	2,7%	0,6%	11,3 ¹
Proteico-energético (BC-AP)	95,0%	3,2%	1,8%	9,8 ¹
Proteico-energético (BC-DP)	96,0%	2,9%	1,1%	9,6 ¹
Bezerros				
Mistura Mineral	96,1%	3,7%	0,3%	5,2
Proteico-energético (BC)	90,4%	5,9%	3,7%	3,7
Bezerras				
Mistura Mineral	94,2%	5,5%	0,3%	4,4
Proteico-energético (BC)	90,0%	6,2%	3,8%	3,9

Legenda: ¹kg de CO_{2eq}. taxa de natalidade x peso do bezerro à desmama⁻¹; **PC** = Peso corporal; **AP** = Antes do parto; **DP** = Depois do parto; **BC** = Baixo consumo; **MC** = Médio consumo.

Em todas as categorias animal da fase de cria, o CH₄ foi à principal fonte de emissão de GEE, em segundo lugar foi o N₂O e por último, o CO₂ (Tabela 07). Para as vacas a representatividade do CH₄ variou de 95,0 a 96,7%, do N₂O foi de 2,7 a 3,2% e do CO₂ de 0,6 a 1,8%. Do total de GEE emitido pelos bezerros, de 90,4 a 96,1% foi de CH₄, 3,7 a 5,9% de N₂O e de 0,3 a 3,7% de CO₂. Quanto as bezerras, o CH₄ representou de 90,0 a 94,2%, o N₂O de 5,5 a 6,2% e o CO₂ de 0,3 a 3,8%

Fase de Recria

As estratégias de suplementação dos machos de sobreano resultaram em diminuição da pegada de carbono (Tabela 08). Os valores variaram de 30,8 com a mistura mineral a 5,6 com a suplementação energética de alto consumo. Na época das águas, a pegada de carbono reduziu de 5,1 com a mistura mineral até 3,9 com a

suplementação. A respeito das fêmeas de sobreano, na época da seca, a suplementação reduziu a pegada de carbono de 13,3 com a mistura mineral a 5,9 com a suplementação proteico-energética de alto consumo. Na época das águas, a pegada de carbono variou de 10,0 com a mistura mineral, até 6,7 com a suplementação energética.

Tabela 08: Pegada de carbono de estratégias de suplementação na fase de recria

Suplementação	Metano	Óxido Nitroso	Dióxido de Carbono	Pegada de Carbono (kg CO _{2eq} .kg PC ⁻¹)
Machos de sobreano				
Época da seca				
Mistura Mineral	99,0%	0,7%	0,2%	30,8
Proteica (BC)	97,8%	1,1%	1,1%	22,6
Energética (MC)	91,8%	1,8%	6,4%	6,7
Energética (AC)	87,9%	2,1%	10,0%	5,6
Proteico-energética (BC)	97,4%	1,2%	1,4%	14,9
Proteico-energética (MC)	93,9%	1,8%	4,3%	8,1
Época das águas				
Mistura Mineral	90,7%	8,9%	0,4%	5,1
Energy-Protein (MI)	85,1%	8,4%	6,5%	3,9
Fêmeas de sobreano				
Época da seca				
Mistura Mineral	98,1%	1,4%	0,6%	13,3
Proteico-energética (BC)	93,9%	2,4%	3,7%	10,6
Proteico-energética (MC)	94,1%	2,2%	3,7%	9,1
Proteico-energética (AC)	88,2%	3,1%	8,7%	5,9
Época das águas				
Mistura Mineral	95,1%	4,5%	0,4%	10,0
Energética (MC)	88,4%	7,6%	4,0%	6,7
Proteico-energética (MC)	87,5%	8,4%	4,1%	6,8

Legenda: PC = Peso Corporal; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo; AC = Alto consumo.

O CH₄ foi à principal fonte de emissão de GEE na fase de recria. Na época da seca, o CO₂ foi o segundo gás mais representativo e na época das águas, o N₂O (Tabela 08). Os machos de sobreano na época da seca, obtiveram representatividade

do CH₄ de 87,9 a 99,0%, do CO₂ de 0,2 a 10,0% e do N₂O de 0,7 a 2,1%. Na época das águas a contribuição do CH₄ foi 85,1 a 90,7%, do N₂O de 8,4 a 8,9% e do CO₂ de 0,4 a 6,5%. A proporção de CH₄ nas emissões de GEE pelas fêmeas de sobreano na época da seca variou de 88,2 a 98,1%, do CO₂, de 0,6 a 8,7% e do N₂O, de 1,4 a 3,1%. Na época das águas o CH₄ representou de 88,4 a 95,1%, o N₂O de 4,5 a 8,4% e o CO₂ 0,4 a 4,1%.

Fase de Terminação

A pegada de carbono dos machos não castrados, na época da seca reduziu de 22,7 com a mistura mineral até 10,9 com a suplementação (Tabela 09). Na época das águas a pegada de carbono variou de 8,4 com a mistura mineral até 7,4 com a suplementação proteico-energética de médio e alto consumo. O confinamento foi a estratégia de terminação dos machos não castrados que obteve o menor valor de pegada de carbono, 4,0. O valor obtido com as fêmeas em confinamento foi de 4,3 kg CO_{2eq}. kg PC⁻¹.

Tabela 09: Pegada de carbono de estratégias de suplementação na fase de terminação

Suplementação	Metano	Óxido Nitroso	Dióxido de Carbono	Pegada de Carbono (kg CO _{2eq} .kg PC ⁻¹)
Machos não castrados				
Época da seca				
Mistura Mineral	98,3%	1,3%	0,3%	22,7
Proteico-energética (MC)	94,4%	2,6%	3,0%	10,9
Época das águas				
Mistura Mineral	92,9%	6,6%	0,4%	8,4
Proteico-energética (MC)	87,2%	8,0%	4,8%	7,4
Proteico-energética (AC)	84,7%	7,3%	8,0%	7,4
Confinamento	49,5%	20,5%	30,0%	4,0
Fêmeas				
Confinamento	61,0%	11,4%	27,7%	4,3

Legenda: PC = Peso Corporal; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo; AC = Alto consumo.

Na fase de terminação, o CH₄ também foi a principal fonte de emissão de GEE. Na época da seca e na terminação em confinamento o CO₂ foi o segundo gás mais representativo (Tabela 09). Na época das águas, o N₂O foi em média o segundo gás mais emitido. A proporção do CH₄ dos machos não castrados na época da seca foi de 94,4 a 98,3%, do CO₂ de 0,3 a 3,0% e do N₂O de 1,3 a 2,6%. Quanto aos machos não castrados na época das águas, a representatividade do CH₄ variou de 84,7 a 92,9%, do N₂O de 6,6 a 8,0% e do CO₂ de 0,4 a 8,0%. A proporção de CH₄ para machos não castrados e fêmeas em confinamento foram respectivamente de 49,5 e 61,0%, a do CO₂ de 30,0 e 27,7% e do N₂O de 20,5 e 11,4%.

2.4. DISCUSSÃO

O aumento na taxa de natalidade de bezerros de 61,7 com a mistura mineral até 84,0% com a suplementação depois do parto (Tabela 02) foi o fator responsável pela redução na pegada de carbono das vacas. Satori & Guardieiro (2010) reportaram que estratégias nutricionais após o parto são mais indicadas para vacas de corte, devido a somatória de fatores como nutrição inadequada e amamentação, os quais afetam negativamente o desempenho reprodutivo. Estas informações estão coerentes com o presente estudo em que a suplementação após o parto gerou a maior taxa de natalidade e a menor pegada de carbono. Alguns autores também destacaram o aumento no desempenho reprodutivo das vacas como forma de reduzir a pegada de carbono da bovinocultura de corte (Beauchemin et al., 2010; D'Aurea et al., 2021).

As estratégias de suplementação de bovinos em crescimento aumentaram o GMD e ao mesmo tempo reduziram a pegada de carbono. Adicionalmente, a menor pegada de carbono coincidiu com o maior desempenho dos bovinos, o que permite ao mesmo tempo elevar ao “máximo” a produtividade e diminuir ao “máximo” a pegada de carbono. Em conformidade com estes resultados, Cardoso et al. (2016) e D'Aurea et al. (2021) também mostraram diminuição na pegada de carbono da bovinocultura de corte na região do Brasil Central com o aumento no desempenho dos bovinos.

Embora não seja comum na época da seca, a suplementação energética de médio e alto consumo de machos de sobreano foram as que mais reduziram a pegada de carbono. Estas tiveram grande representatividade na dieta dos bovinos, 0,59 e

0,79% do PC, com 18,7 e 13,4% de PB na composição, respectivamente, o qual elevou o teor de PB da dieta até 9,9 e 8,9%, concomitantemente, que são valores acima do mínimo recomendado para adequado funcionamento ruminal, 8,0% (Poppi et al., 2018).

A suplementação de machos de sobreano e machos não castrados, ambas, na época das águas, bem como de bovinos terminados em confinamento, diminuíram a duração da fase (Tabela 03 e Tabela 04). Este é um fator de grande importância na mitigação da pegada de carbono (Buratti et al., 2017; D'Aurea et al., 2021). Entre todas as estratégias de terminação, o confinamento obteve a menor pegada de carbono. Além do maior GMD e menor duração da fase, animais confinados possuem menor Y_m em relação a bovinos criados a pasto, o que diminuiu a produção de CH_4 por kg de energia bruta consumida e por dia (Congio et al., 2021). Este conjunto de fatores explica o menor valor obtido com a terminação em confinamento.

Em sistemas de produção de bovinos de corte, a escolha da estratégia de suplementação a ser adotada leva em consideração, além da expectativa de desempenho animal, o aspecto econômico (Romanzini et al., 2020). Dessa maneira, como houveram opções de estratégias de suplementação com potencial de reduzir a pegada de carbono, é possível que esta redução ocorra em diferentes proporções, a depender das estratégias de suplementação a serem adotadas, de acordo a necessidade de cada sistema de produção. Esta diminuição pode ser de até 15,0% com as vacas, 28,8% com os bezerros, 11,4% com as bezerras, 81,8% com os machos de sobreano na seca e 23,5% nas águas, 55,6% com as fêmeas de sobreano na seca e 33% nas águas e de 82,4% a 52,4% com os machos não castrados.

Devido a lacuna de informações para realização de modelagens, não foi considerado neste estudo o rendimento de carcaça, entretanto, animais alimentados com dietas mais concentradas tendem a ter maior teor de componentes de carcaça no ganho de peso. Com base nessa informação, é possível inferir que a pegada de carbono, em kg de CO_{2eq} . kg de carcaça⁻¹, das estratégias de suplementação e da terminação em confinamento tendem a ser ainda menores, quando comparado ao valor obtido com a mistura mineral.

A análise de forma mais detalhada, permitiu identificar as principais estratégias de suplementação com potencial de reduzir a pegada de carbono das categorias de bovinos de corte, em cada época do ano. Adicionalmente, esta avaliação possibilita diferentes combinações entre as fases de produção, a qual permite obter a pegada de carbono de diferentes sistemas de produção praticados no Brasil Central.

Do total emitido de GEE, em todas as estratégias de suplementação, o CH₄ foi o gás mais representativo. Este resultado está de acordo com outros estudos que quantificaram a pegada de carbono da pecuária de corte (Beauchemin et al., 2010; McAuliffe et al., 2018). Alternativas de mitigação de CH₄ estão principalmente relacionadas ao aumento no GMD e redução na idade de abate (Skidmore et al., 2022). A suplementação é uma alternativa que atende a estes requisitos.

Mesmo com a elevada representatividade do CH₄, principalmente de origem entérica, vale destacar que este é produzido a partir da degradação da fibra no rúmen, esta é principalmente oriunda da forragem, que são alimentos não consumidos pelos seres humanos. Além do mais, cerca de 26% das áreas do planeta são de pastagens (Cardoso et al., 2020), o que reforça a importância dos serviços ecossistêmicos prestados pelos ruminantes.

Na época das águas o N₂O foi o segundo GEE mais representativo. Outros estudos que estimaram a pegada de carbono da pecuária de corte também reportaram que o N₂O é a segunda maior fonte de emissão dos GEE (Beauchemin et al., 2010; Rotz et al., 2019). A diminuição da excreção de N pelos animais, principalmente pela urina é uma forma de mitigação de N₂O. A redução no teor de PB na dieta, desde que não prejudique o desempenho animal é uma alternativa com potencial de diminuir a excreção de N pelos bovinos (Menezes et al., 2016).

A terminação em confinamento e a suplementação proteico-energética de alto consumo dos machos não castrados na época das águas, gerou maior emissão de CO₂ relativamente ao N₂O. Isso ocorreu devido a elevada produção de suplementos e alimentos concentrados, que são fontes de emissão de CO₂. Adicionalmente a representatividade CO₂ no confinamento foi ainda maior, em função da demanda de alimentos ter sido relativamente maior que a demanda de suplementos pelos animais suplementados pasto.

No período da seca o CO₂ foi o segundo GEE mais representativo. Isso ocorreu devido ao aumento na produção de suplementos, ao mesmo tempo em que houve redução relativa na produção de N₂O, em função principalmente da baixa ou inexistente umidade no solo que é comum neste período, a qual não possibilita a ocorrência dos processos de nitrificação e desnitrificação que tem como intermediário o N₂O (Cardoso et al., 2019).

2.5. CONCLUSÕES

A suplementação de bovinos de corte é eficaz na redução da pegada de carbono. O CH₄ é o GEE de maior representatividade. A suplementação é eficaz em aumentar o GMD e diminuir a idade de abate dos bovinos, estratégias indicadas para mitigação de CH₄. Alternativas que diminuam a excreção de N para o ambiente, como a adequação do teor de PB da dieta são fundamentais para mitigação de N₂O. A formulação mais adequada de suplementos, de forma a diminuir a quantidade utilizada deste insumo, sem prejudicar o desempenho dos bovinos, é também uma alternativa para mitigação de CO₂.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. BeefReport: Perfil da Pecuária no Brasil. **Beef REPORT**, p. 72, 2022.

Almeida DM, Marcondes MI, Rennó LN, Martins LS, Marquez DEC, Saldarriaga FV, Villadiego FAC, Ortega RM, Moreno DPS, Moura, FH, Cunha, CS, Paulino MF (2020) Effects of pre-and postpartum supplementation on lactational and reproductive performance of grazing Nellore beef cows. **Animal Production Science**, v. 61, n. 2, p. 101-107.

Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM (2010) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 371-379.

BEN. Relatório Síntese 2021. Balanço Energético Nacional, 72 pags.

BR-CORTE (2016) **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados**: 3ª Ed. – Viçosa (MG): UFV, DZO.

Bretas IL, Paciullo DSC, Alves BJR, Martins MR, Cardoso AS, Lima MA, Rodrigues RAR, Silva FF, Chizzotti FHM (2020) Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106896.

Buratti C, Fantozzi F, Barbanera M, Lascaro E, Chiorri M, Cecchini (2017) Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. **Science of the total environment**, v. 576, p. 129-137.

Cardoso AS, Barbero RP, Romanzini EP, Teobaldo RW, Ongaratto F, Machado MH, Ruggieri AC, Reis RA (2020) Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in *Brachiaria* Grasslands. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 6656.

Cardoso AS, Berndt A, Leytem A, Alves BJR, Carvalho INO, Soares LHB, Urquiaga S, Boddey RM (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96.

Cardoso AS, Oliveira SC, Januszkiewicz ER, Brito LF, Morgado ES, Reis RA, Ruggieri AC (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104341.

Congio GFS, Batalha CDA, Chiavegato MB, Berndt A, Oliveira PPA, Frighetto RTS, Maxwell TMR, Gregorini P, Da Silva SC (2018) Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 872-880.

Congio GFS, Chiavegato MB, Batalha CDA, Oliveira PPA, Maxwell TMR, Gregorini, Da Silva SC (2019) Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 493-500.

Congio GFS et al. (2021) Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, p. 127693.

D'Aurea AP, Cardoso AS, Guimarães YSR, Fernandes LB, Ferreira LE, Reis RA (2021) Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7207.

De Almeida DM, Da Silva AL, Paulino MF, Da Silva TE, Detmann E, Marcondes MI (2022) Performance of *Bos indicus* beef cattle supplemented with mineral or with concentrates in tropical *Urochloa decumbens* pastures: A meta-regression approach. **Animal Feed Science and Technology**, v. 283, p. 115178.

De Andrade TS, Albertini TZ, Barioni LG, De Medeiros SR, Millen DD, Dos Santos ACR, Goulart RS, Lanna DPD (2020) Perception of consultants, feedlot owners, and packers regarding management and marketing decisions on feedlots: a national survey in Brazil (Part II). **Canadian Journal of Animal Science**, v. 100, n. 4, p. 759-770.

Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality and animal performance in tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9.

De Paula NF, Paulino MF, Couto VRM, Detmann E, Maciel IFS, Barros LV, Lopes SA, Valente EEL, Zervoudakis JT, Martins LS (2019) Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6 Supl 2, p. 3233-3248.

De Oliveira SG, Berchielli TT, Pedreira MS, Primavesi O, Frighetto R, Lima MA (2007) 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.

Detmann E, Valente EEL, Batista ED, Huhtanen P (2014) An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153.

Hoffmann A, Cardoso AS, Fonseca NVB, Romanzini EP, Siniscalchi D, Berndt A, Ruggieri AC, Reis RA (2021) Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH₄ emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. **Animal**, p. 100155.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2019) Refinement the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Emissions From Livestock and Manure Management. **Forestry**, v. 4, p.87, 2019.

Koscheck JFW, Romanzini EP, Barbero RP, Delevatti LM, Ferrari AC, Mulliniks JT, Mousquer CJ Berchielli TT, Reis RA (2020) How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation?. **Animal Production Science**, v. 60, n. 9, p. 1201-1209.

Lana Ferreira MF, Rennó LN, Detmann E, Paulino MF, Valadares Filho SC, Moreira SS, Martins HC, De Oliveira BIC, Marquez JA, Cidrini IP (2020) Performance, metabolic and hormonal responses of grazing Nellore cows to an energy-protein supplementation during the pre-partum phase. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13.

Ledgard SF, Boyes M, Brentrup F (2011) Life cycle assessment of local and imported fertilisers used on New Zealand farms. **Ministry of Agriculture and Forestry**.

Lessa ACR, Madari BE, Paredes DS, Boddey RM, Urquiaga S, Jantalia CP, Alves BJR (2014) Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 104-111.

Lima L, Ongaratto F, Fernandes M, Cardoso A, Lage J, Silva L, Reis R, Malheiros E (2022) Response of Pasture Nitrogen Fertilization on Greenhouse Gas Emission and Net Protein Contribution of Nellore Young Bulls. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3173.

Maciel ICF, Barbosa FA, Tomich TR, Ribeiro LGP, Alvarenga RC, Lopes LS, Malacco VMR, Rowntree JE, Thompson LR, Lana AMQ (2021) Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system?. **PloSone**, v. 14, n. 7, p. e0220247.

Machado JM, Motta EAM, Barbosa MR, Weiler RL, Mills A, Ongaratto F, Maidana FM, Montagner P, Rodrigues DPA, Silveira DC (2022) Strategies to mitigate the emission of methane in pastures: enteric methane: A review. **Australian Journal of Crop Science**, 16(06), p. 682-690.

MAPA (2004) Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 12 de 30 de Novembro de 2004. Regulamento Técnico Sobre Fixação de Parâmetros e das Características Mínimas dos Suplementos Destinados a Bovinos. Brasília, DF, 30/11/ 2004.

McAuliffe GA, Takahashi T, Orr RJ, Harris P, Lee MRF (2018) Distributions of emissions intensity for individual beef cattle reared on pasture-based production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1672-1680.

Millen DD e Arrigoni MB (2013) Drivers of change in animal protein production systems: Changes from 'traditional' to 'modern' beef cattle production systems in Brazil. **Animal Frontiers**, v. 3, n. 3, p. 56-60.

Menezes ACB, Valadares Filho SC, Costa e Silva LF, Pacheco MVC, Pereira JMV, Rotta PP, Zanetti D, Detmann E, Silva FAS, Godoi LA, Rennó LN (2016) Does a reduction in dietary crude protein content affect performance, nutrient requirements, nitrogen losses, and methane emissions in finishing Nellore bulls?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 223, p. 239-249.

Pinto ACJ e Millen DD (2018) Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 99, n. 2, p. 392-407.

Poppi DP, Quigley SP, Da Silva TACC, McLennan SR (2018) Challenges of beef cattle production from tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47.

Portes JV, Menezes GRO, Macneil MD, Da Silva LOC, Gondo A, Neto JB (2020) Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. **Livestock Science**, v. 242, p. 104309.

Ribeiro AF, Messana JD, José Neto A, Lage JF, Fiorentini G, Vieira BR, Berchielli TT (2016) Enteric methane emissions, intake, and performance of young Nellore bulls fed different sources of forage in concentrate-rich diets containing crude glycerine. **Animal Production Science**, v. 58, n. 3, p. 517-522.

Rodrigues LM, Schoonmaker JP, Resende FD, Siqueira GR, Machado Neto OR, Gionbelli MP, Gionbelli TRS, Ladeira MM (2020) Effects of protein supplementation on Nellore cows' reproductive performance, growth, myogenesis, lipogenesis and intestine development of the progeny. **Animal Production Science**.

Romanzini EP, Barbero RP, Reis RA, Hadley D, Malheiros EB (2020) Economic evaluation from beef cattle production industry with intensification in Brazil's tropical pastures. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 5, p. 2659-2666.

Rossi LG, Fiorentini G, Vieira BR, José Neto A, Messana JD, Malheiros EB, Berchielli TT (2017) Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance,

and methane production of Nellore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 39-47.

Rotz CA, Asem-Hiablie S, Place S, Thoma G (2019) Environmental footprints of beef cattle production in the United States. **Agricultural Systems**, v. 169, p. 1-13.

Sartori R e Guardieiro MM (2010) Fatores nutricionais associados à reprodução da fêmea bovina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 422-432.

Skindmore ME, Sims KM, Rausch LL, Gibbs HK (2022) Sustainable intensification in the Brazilian cattle industry: the role for reduced slaughter age. *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 6, p. 064026.

Teobaldo RW, Cardoso AS, Brito TR, Leite RG, Romanzini EP, Granja-Salcedo YT, Reis RA (2022) Response of Phytogenic Additives on Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Nellore Bulls Raised in Grassland. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9395.

3. CAPÍTULO 3 – Impacto da suplementação na pegada de carbono e uso da terra do ciclo completo de produção de bovinos de corte

RESUMO – O objetivo com este estudo foi calcular o impacto da suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono e uso da terra, reportar a representatividade do metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2) em relação às emissões de gases de efeito estufa (GEE), bem como a participação relativa da cria, recria e terminação. A avaliação de ciclo de vida foi adotada para estimar a pegada de carbono, em $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de peso corporal⁻¹ (PC) do ciclo completo de produção de bovinos de corte. Foi levado em consideração as operações desde a aquisição da matéria prima, processos biológicos dos animais e manejo das excretas. Os cálculos de CH_4 e N_2O foram realizados de acordo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), segundo a metodologia de cálculo Tier 2, com a adoção de fatores de emissão nacional. O CO_2 foi estimado a partir de fatores de emissão indicados na literatura. O uso da terra (m^2 . kg de PC⁻¹) foi determinado a partir da produtividade da área de pastagem, das lavouras de milho e soja e a demanda de alimento pelos bovinos. Foram avaliados sete sistemas de produção: No cenário 1 os bovinos receberam apenas mistura mineral durante todo o ciclo de produção, no cenário 2 a suplementação ocorreu apenas na terminação, no cenário 3 a terminação ocorreu em confinamento, no cenário 4 houve suplementação na recria e terminação, no cenário 5 estabeleceu a suplementação na recria e a terminação em confinamento, no cenário 6 todas as categorias foram suplementadas e no cenário 7 a suplementação aconteceu na cria e recria, e a terminação foi em confinamento. A pegada de carbono e o uso da terra decresceram do cenário 1 ao 7 de 20,8 a 12,7 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC⁻¹ e de 43 a 26 m^2 . kg de PC⁻¹. Em todos os cenários avaliados os resultados foram menores que a média nacional. Em todos os cenários o CH_4 foi o principal GEE, com representatividade média de 74,0%, e o N_2O foi o segundo GEE mais representativo, 13,6%. A participação média do CO_2 foi de 12,4%. Entre as fases de produção, a cria representou em média 66,5% das emissões de GEE, principalmente, em função das vacas, a recria contribuiu em média com 24,3% e a terminação com 9,3%. O aumento da taxa de natalidade, como resultado da suplementação das vacas e a terminação em confinamento foram os fatores que mais reduziram a pegada de carbono e uso da terra. A suplementação é uma alternativa eficaz na redução da pegada de carbono e uso da terra pela bovinocultura de corte.

Palavras-chave: bovinocultura de corte, gases de efeito estufa, metano, pegada de carbono, uso da terra.

3.1. INTRODUÇÃO

Mesmo com uma produtividade média da pecuária de corte de 119 kg de peso corporal (PC). ha⁻¹, a representatividade da carne bovina brasileira no mercado global em 2021 foi de 13,7% (ABIEC, 2022). Já foi reportado um potencial de incremento em produtividade de 7 vezes em relação a média (Hoffmann et al., 2021). Esse fato coloca o Brasil em destaque na produção de carne bovina, com possibilidade de crescimento, para atender em parte, a crescente demanda mundial por este produto (Vaz et al., 2020). Adicionalmente a produção de bovinos no Brasil é predominantemente a pasto, que é mais barata relativamente a sistemas confinados (Machado et al., 2022), o qual permite produzir a baixo custo.

Entretanto, na produção de bovinos, ocorre a emissão de gases de efeito estufa (GEE; McAuliffe et al., 2018), o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e o dióxido de carbono (CO₂). O dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}), representa numa única base as emissões destes 3 gases. Quando o CO_{2eq} é associado ao ganho de peso dos animais, se obtém a pegada de carbono (kg de CO_{2eq}. kg PC⁻¹), a maneira mais comum de reportar essas emissões (D'Aurea et al., 2021). Outro questionamento a respeito da pecuária brasileira é em relação a quantidade de terra utilizada na produção, associada ao desmatamento da floresta amazônica (Silva et al., 2021a). O uso da terra é reportado em função da quantidade necessária de metros quadrados para o ganho de um kg de PC (m². kg PC⁻¹; Beauchemin et al., 2010).

Portanto é necessário simultaneamente, elevar a produtividade e reduzir a pegada de carbono e uso da terra da pecuária de corte. A suplementação dos animais sob regime de pastejo é uma alternativa comprovada no aumento do desempenho reprodutivo (Lana Ferreira et al., 2020) e produtivo dos bovinos (Cappelozza et al., 2020). Embora ainda não tenha sido avaliada, espera-se que ocorra redução na pegada de carbono e uso da terra, ocasionados pela suplementação. Trabalhos que avaliaram estas duas categorias de impacto na bovinocultura de corte reportaram que o aumento na produtividade resultou em diminuição na pegada de carbono e uso da terra (Beauchemin et al., 2010; Dick et al., 2015; Cardoso et al., 2016).

Sendo assim, o objetivo com este estudo foi investigar o impacto da suplementação de bovinos de corte na pegada de carbono e uso da terra. Reportar a pegada de carbono do ciclo completo de produção, comparar os resultados com outros sistemas de produção de bovinos de corte, informar a representatividade do CH₄, N₂O e CO₂, bem como a participação relativa da cria, recria e terminação.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O método adotado para estimar a pegada de carbono e o uso da terra foi a Avaliação do Ciclo de Vida.

1) Definição do Objetivo e Escopo

As categorias de impacto avaliadas foram: Mudanças climáticas, pois a emissão de GEE é um dos principais impactos da pecuária ao meio ambiente (Cardoso et al., 2020) e o uso da terra, devido a grande área utilizada para produção pecuária no Brasil, 163 milhões de hectares de pastagens (ABIEC, 2022) e a pressão internacional que associa a pecuária brasileira ao desmatamento da floresta amazônica (Silva et al., 2021a). A estratégia utilizada foi a “cradle-to-gate”, onde avaliou-se o ciclo completo de produção de bovinos de corte. As categorias de bovinos de corte foram organizadas da seguinte maneira:

- Touros – Macho adulto em reprodução;
- Vacas – Fêmea adulta em reprodução, apenas vacas multíparas;
- Bezerros – Macho até os 7 meses de idade;
- Bezerras – Fêmea até os 7 meses de idade;
- Machos de sobreano – Macho dos 8 meses até 380 kg ou 19 meses;
- Fêmeas de sobreano – Fêmea dos 8 meses até 360 kg ou 19 meses;
- Novilhos – Macho com mais de 19 meses e menos que 380 kg;
- Novilhas – Fêmea com mais de 19 meses e menos que 360 kg;
- Machos não castrados – Macho dos 380 aos 500 kg;
- Fêmeas – Fêmea dos 360 aos 455 kg.

Foram estimadas a emissão de CH₄ entérico e das fezes, emissões diretas e indiretas de N₂O da aplicação de fertilizantes nitrogenados nas pastagens, da urina e

das fezes dos animais, bem como, a emissão de CO_2 fóssil originada dos gastos com energia elétrica, da produção de fertilizantes, suplementos e alimentos para os animais (Figura 01). Neste estudo foi considerado o estoque de carbono no solo em equilíbrio dinâmico e, portanto, não foi quantificada sua variação. A unidade funcional (UF) escolhida a pegada de carbono ($\text{kg de CO}_{2\text{eq.}} \text{ kg de PC}^{-1}$; D'Aurea et al., 2021) e uso da terra ($\text{m}^2 \text{ kg de PC}^{-1}$; Beauchemin et al., 2010).

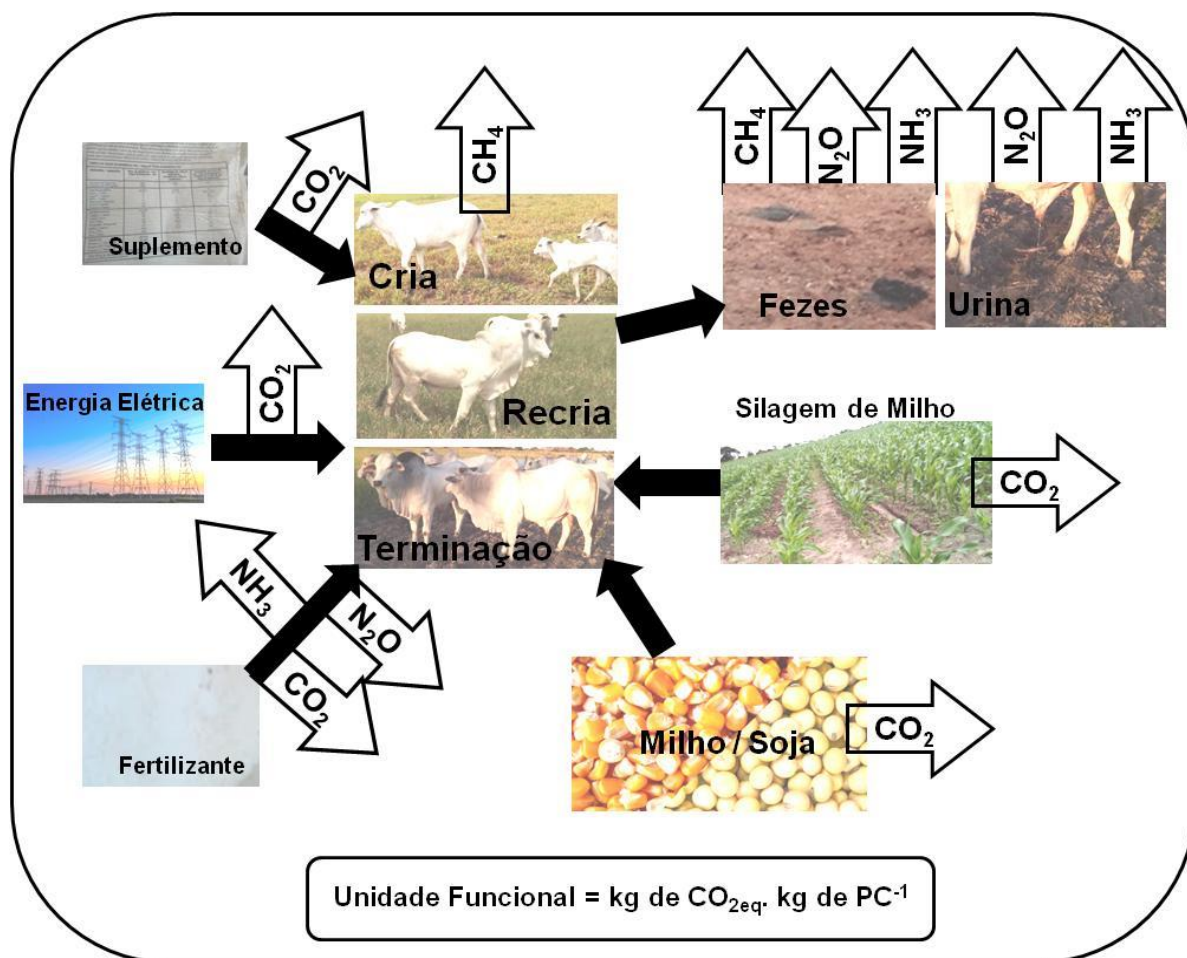


Figura 01. Limites do sistema e unidade funcional

Os dados utilizados no presente estudo foram buscados em revisão bibliográfica de trabalhos com suplementação de bovinos da raça Nelore, a mais representativa no Brasil (Portes et al., 2020). Adicionalmente, foram incluídas informações da terminação em confinamento, pois esta é uma importante estratégia em sistemas intensivos (De Andrade et al., 2020). O local considerado neste estudo foi o Brasil Central (Figura 02), principal região em efetivo e produção de carne bovina

(ABIEC, 2022). Após a aquisição das informações, foram definidos alguns padrões, com objetivo de obter maior coerência nos resultados.



Fonte: IBGE, (2002)

Figura 02. Mapa de Climats do Brasil

Detmann et al. (2014), reportaram que o teor de PB do pasto influencia no GMD e resposta dos bovinos ao suplemento. Variação na emissão de CH_4 (Ruggieri et al., 2020) e N_2O (Congio et al., 2019) em função de diferentes manejos do pasto, também tem sido reportado. Por essa razão, foram consideradas apenas pesquisas com forrageiras do gênero *Urochloa spp.*, que é predominante no Brasil, (Ruggieri et al., 2020), e que o método de pastejo tenha sido em lotação contínua. Os teores de PB e FDNcp do pasto de cada categoria animal, foram a média dos trabalhos revisados (Tabela 01). Estabeleceu como o volumoso dos animais terminados em confinamento, a silagem de milho, que é a mais utilizada no Brasil (Pinto e Millen, 2018).

Tabela 01: Valor nutritivo da forragem em cada fase de criação

Fase de Produção	Época da seca		Época das águas	
	PB (%)	FDNcp (%)	PB (%)	FDNcp (%)
Cria	7,1	67,2	10,5	57,5
Recria				
Machos de sobreano/Novilhos	5,3	68,3	13,2	61,0
Fêmeas de sobreano/Novilhas	7,5	68,5	11,1	63,2
Terminação	5,7	78,4	11,3	54,7
Silagem de milho ²	6,6	53,9		

Legenda: PB = Proteína bruta; FDNcp = Fibra insolúvel em detergente deuto corrigido para cinzas e proteína;

¹Este valor está em FDN; ²Silagem de milho pode ser usada no período da seca e das águas.

Nos artigos revisados não foi informado sobre adubação e produção de forragem, portanto, foram considerados corretivos e fertilizantes em quantidades para manutenção da fertilidade do solo, conforme indicado por Cardoso et al. (2016), 200 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de calcário, 20 kg. ha⁻¹.ano⁻¹ de fósforo (P) e 20 kg. ha⁻¹.ano⁻¹ de potássio (K). A produção de forragem foi a média dos trabalhos para *Urochloa app.* adubadas com 90 kg de N. ha⁻¹. ano⁻¹, 12,9 ton MS. ha⁻¹.ano⁻¹ (Lupinacci, 2002; Fagundes et al., 2005; Flores et al., 2008; Delevatti et al., 2019). A produção de silagem de milho foi de 12 ton MS. ha⁻¹ (Cardoso et al., 2016). Como os trabalhos não informaram sobre o manejo do pasto e a massa de forragem foi sempre muito maior em relação à demanda dos bovinos, determinou-se uma eficiência de pastejo razoável, 40%.

Os ingredientes mais utilizados na formulação dos suplementos de bovinos de corte no Brasil são, milho e soja (D'Aurea et al., 2021), e como vários artigos revisados utilizaram também o sorgo, foram incluídos apenas trabalhos que a composição dos suplementos tenha sido destes ingredientes. Mesmo havendo opções de outros cereais e sub-produtos regionais para confecção de suplementos, não é possível sua aplicação em todo o Brasil Central (Detmann et al., 2014). O concentrado dos animais em terminação foi composto por milho e soja.

A classificação dos suplementos foi feita com base na Instrução Normativa 12/11 (MAPA, 2004). Suplemento proteico, aquele que possui pelo menos 20% de PB e fornece menos de 100 gramas de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT). 100 kg de PC⁻¹. Suplemento proteico-energético, possui pelo menos 20% de PB e fornece mais de 100 gramas de NDT. 100 kg de PC⁻¹. Embora não possua na classificação do MAPA, é comum no Brasil a utilização de suplemento energético, o qual foi definido como aquele que possui menos de 20% de PB. Quanto à quantidade fornecida aos bovinos, foi considerado de baixo consumo, até 0,3% do PC; de 0,31 até 0,6% do PC de médio consumo e maior que 0,6% do PC, de alto consumo (De Paula et al., 2019).

Foram escolhidos 7 cenários de suplementação mais comuns no Brasil Central (Tabela 01). O cenário 1 foi estabelecido como referência, neste considerou que todos os bovinos receberam apenas mistura mineral ao longo de todo o ciclo de vida. No cenário 2 foi definido um sistema de produção com os animais suplementados apenas na terminação. No cenário 3, a terminação ocorreu em confinamento. No cenário 4 os animais foram suplementados na recria e na terminação. No cenário 5, além da suplementação na recria, a terminação ocorreu em confinamento. No cenário 6 todos os bovinos foram suplementados e no cenário 7 considerou a suplementação na cria e recria e a terminação em confinamento.

Tabela 02: Estratégias de suplementação em cada cenário

	Cria			Recria				Terminação			
	Vaca		Bezerro(a)	Macho de sobreano/Novilho		Fêmea de sobreano/Novilha		Macho não castrado		Fêmea	
	Seca	Águas	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas	Seca	Águas
Cenário 1	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral
Cenário 2	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	SPE (BC)	SPE (MC)	Sup	Sup
Cenário 3	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Conf		Conf	
Cenário 4	Mineral	Mineral	Mineral	SE (MC)	SPE (MC)	SPE (AC)	SE (MC)	SPE (BC)	SPE (MC)	Sup	Sup
Cenário 5	Mineral	Mineral	Mineral	SE (MC)	SPE (MC)	SPE (AC)	SE (MC)	Conf		Conf	
Cenário 6	Mineral	SPE (BC)	SPE (MC)	SE (MC)	SPE (MC)	SPE (AC)	SE (MC)	SPE (BC)	SPE (MC)	Sup	Sup
Cenário 7	Mineral	SPE (BC)	SPE (MC)	SE (MC)	SPE (MC)	SPE (AC)	SE (MC)	Conf		Conf	

Legenda: SPE = Suplementação proteico-energética; Sup = Suplementação; Conf = Confinamento; SE = Suplementação energética; BC = Baixo consumo; MC = Médio consumo; AC = Alto consumo

Entre as estratégias de suplementação revisadas, de cada categoria animal em cada época do ano (seca e águas) foram escolhidas aquelas que apresentaram à menor pegada de carbono para realizar a integração entre as fases e montar um sistema de produção de ciclo completo. Embora não seja comum, a melhor estratégia para machos de sobreano/novilhos na seca foi a suplementação energética. Mesmo com esta classificação de tipo, o suplemento era composto por 18,7% de PB, o qual elevou o teor de PB da dieta até 9,9%, que está acima do mínimo de 8,0% recomendado para bovinos (Poppi et al., 2018).

Em todos os cenários foi considerado o sistema de produção com a concepção das vacas em dezembro, o qual faz parte do período de estação de monta convencional no Brasil Central. Os nascimentos aconteceram em outubro, pois a gestação da vaca Nelore dura em média 290 dias (BR-CORTE, 2016) e a desmama em maio, devido a desmama dos bezerros no Brasil ocorrer em média aos 7 meses de idade (Ruggieri et al., 2020). A produção e valor nutritivo do pasto, de acordo a categoria, também foram os mesmos em todos os cenários (Tabela 01).

O rebanho base em todos os cenários, foi em equilíbrio dinâmico, com 400 vacas, 8 touros e suas progênies (Tabela 03), considerado como padrão de fazendas no Brasil Central (Euclides Filho, 2000). É recomendado que a relação touro/vaca seja de 1/25, no entanto, em todos os artigos revisados, as vacas foram submetidas a inseminação artificial em tempo fixo (IATF), que segundo Cooke et al. (2020), gera uma taxa de prenhez de 50%. Portanto foram considerados apenas touros de repasse, mantendo a proporção touro/vaca de 1/25.

A quantidade dos bovinos das demais categorias animais em cada cenário foi obtida em função da taxa de natalidade e taxa de mortalidade do rebanho. Do cenário 1 ao 5 as vacas receberam mistura mineral e a taxa de natalidade foi de 61,7%. Nos cenários 6 e 7, houve suplementação das vacas, a qual elevou a taxa de natalidade para 84,0%. Em todos os cenários, a taxa de mortalidade dos bezerros foi de 5%, dos animais até 19 meses de 2% e 1% para bovinos com idade superior a 20 meses (Cardoso et al., 2016). A duração de tempo da recria e terminação variou entre cenários, em função do ganho de peso médio diário (GMD) e peso estabelecido para término destas fases.

Tabela 03: Informações do rebanho e duração de cada fase em cada cenário

Cenário 1	Rebanho (un)	Peso Corporal (kg)	GMD (kg.dia ⁻¹)		Dias	Cenário 2	Rebanho (un)	Peso Corporal (kg)	GMD (kg.dia ⁻¹)		Dias
			EA	ES					EA	ES	
Touros	8	650	0		365	Touros	8	650	0		365
Vacas	400	482	0		365	Vacas	400	482	0		365
Bezerros	117	33 -> 197	0,879*	0,695**	210	Bezerros	117	33 -> 197	0,879*	0,695**	210
Bezerras	117	33 -> 185	0,799*	0,653**	210	Bezerras	117	33 -> 185	0,799*	0,653**	210
Machos de sobreano	115	197 -> 353	0,622	0,165	365	Machos de sobreano	115	197 -> 353	0,622	0,165	365
Fêmeas de sobreano	115	185 -> 278	0,327	0,157	365	Fêmeas de sobreano	115	185 -> 278	0,327	0,157	365
Novilhos	114	353 -> 380	0,622	0,165	157	Novilhos	114	353 -> 380	0,622	0,165	157
Novilhas	114	278 -> 360	0,327	0,157	331	Novilhas	114	278 -> 360	0,327	0,157	331
Machos não castrados	112	380 -> 500	0,650	0,271	184	Machos não castrados	112	380 -> 500	0,797	0,435	150
Fêmeas	59	360 -> 455	0,480	0,258	270	Fêmeas	59	360 -> 455	0,720	0,413	198
TOTAL	1270					TOTAL	1270				
Cenário 3						Cenário 4					
Touros	8	650	0		365	Touros	8	650	0		365
Vacas	400	482	0		365	Vacas	400	485	0		365
Bezerros	117	33 -> 197	0,879*	0,695**	210	Bezerros	117	33 -> 197	0,879*	0,695**	210
Bezerras	117	33 -> 185	0,799*	0,653**	210	Bezerras	117	33 -> 185	0,799*	0,653**	210
Machos de sobreano	115	197 -> 353	0,622	0,165	365	Machos de sobreano	115	197 -> 380	0,946	0,535	260
Fêmeas de sobreano	115	185 -> 278	0,327	0,157	365	Fêmeas de sobreano	115	185 -> 354	0,503	0,411	365
Novilhos	114	353 -> 380	0,622	0,165	157	Novilhas	114	354 -> 360	0,503	0,411	14
Novilhas	114	278 -> 360	0,327	0,157	331	Machos não castrados	113	380 -> 500	0,797	0,435	190
Machos não castrados	112	380 -> 500		1,378	87	Fêmeas	59	360 -> 455	0,720	0,413	192
Fêmeas	59	360 -> 455		0,840	113						
TOTAL	1270					TOTAL	1157				
Cenário 5						Cenário 6					
Touros	8	650	0		365	Touros	8	650	0		365
Vacas	400	482	0		365	Vacas	400	482	0		365
Bezerros	117	33 -> 197	0,879*	0,695**	210	Bezerros	160	33 -> 217	0,879*	0,874**	210
Bezerras	117	33 -> 185	0,799*	0,653**	210	Bezerras	160	33 -> 198	0,799*	0,775**	210
Machos de sobreano	115	197 -> 380	0,946	0,535	260	Machos de sobreano	156	217 -> 380	0,946	0,535	240
Fêmeas de sobreano	115	185 -> 354	0,503	0,411	365	Fêmeas de sobreano	156	198 -> 360	0,503	0,411	350
Novilhas	114	356 -> 360	0,503	0,411	14	Machos não castrados	154	380 -> 500	0,797	0,435	171
Machos de sobreano	113	380 -> 500		1,378	87	Fêmeas	101	360 -> 455	0,720	0,413	198
Fêmeas	59	360 -> 455		0,840	113						
TOTAL	1157					TOTAL	1295				
Cenário 7											
Touros	8	650	0		365						
Vacas	400	485	0		365						
Bezerros	160	33 -> 217	0,879*	0,874**	210						
Bezerras	160	33 -> 198	0,799*	0,775**	210						
Machos de sobreano	156	217 -> 380	0,946	0,535	240						
Fêmeas de sobreano	156	198 -> 360	0,503	0,411	350						
Machos não castrados	154	380 -> 500		1,378	87						
Fêmeas	101	360 -> 455		0,840	113						
TOTAL	1295										

Legenda: GMD = Ganho médio diário; EA = Época das águas; ES = Época da seca; * = GMD dos bezerros até 3,3 meses; **GMD dos bezerros a partir dos 3,3 meses

No Brasil, com exceção da fase dos bezerros (as), que dura em média 7 meses, as demais fases de produção têm mais relação com o peso do animal, do que com o tempo. Em todos os cenários, estabeleceu o peso ao início da terminação dos bovinos machos (Machos de sobreano/novilhos) de 380 kg (De Andrade et al., 2020) e das fêmeas (Fêmeas de sobreano/novilhas), 360 kg (Cardoso et al., 2016). O peso de abate dos machos não castrados foi de 500 kg (De Andrade et al., 2020) e das fêmeas, 455 kg (Portes et al., 2020). O GMD dos bovinos foi obtido com base na época das águas e da seca, que tiveram duração de 7 e 5 meses, respectivamente (Lessa et al., 2014).

O GMD dos bezerros e bezerras até os 3,3 meses foi semelhante em todos os cenários. Dos 3,3 meses até os 7 meses, do cenário 1 ao 5 o GMD também foi o mesmo, pois houve apenas o fornecimento de mistura mineral. Nos cenários 6 e 7 houve a suplementação dos bezerros e bezerras em *creep-feeding*, portanto o GMD foi superior relativamente aos cenários anteriores. Não foram encontradas estratégias de suplementação para fêmeas em terminação e, portanto, foram utilizados GMD indicados por Cardoso et al. (2016).

Os valores dos indicadores zootécnicos utilizados nos cenários, taxa de natalidade e GMD de cada categoria animal, foi a média para estes índices, dos trabalhos revisados, seguindo o critério de classificação das estratégias de suplementação do MAPA (2004).

A quantidade de animais abatidos em cada cenário foi a soma das categorias: Machos não castrados, fêmeas e vacas de descarte (Tabela 04). A taxa de substituição das vacas foi de 12,5%, conforme indicado por Cardoso et al. (2016). Portanto, das fêmeas que seriam abatidas, 46 foram destinadas a substituir as vacas que foram descartadas. Do cenário 1 ao 5 a quantidade de bovinos abatidos e a produção foram semelhantes. Nos cenários 6 e 7, devido o maior tamanho do efetivo, como resultado da taxa de natalidade mais elevada, houve maior quantidade de animais abatidos e maior produção. O peso de abate de machos não castrados, fêmeas e vacas de descarte foram semelhantes em todos os cenários, dessa maneira, houve aumento na produção, apenas em função do aumento na quantidade de animais abatidos.

Tabela 04: Quantidade e peso de cada categoria abatida por ano

Cenário 1	Rebanho (un)	Peso Corporal (kg)	TOTAL (kg)	Cenário 2	Rebanho (un)	Peso Corporal (kg)	TOTAL (kg)
Vacas de descarte	46	482	22179	Vacas de descarte	46	482	22179
Machos não castrados	115	500	57276	Machos não castrados	115	500	57302
Fêmeas	62	455	28002	Fêmeas	62	455	28022
TOTAL			107457	TOTAL			107504
Cenário 3				Cenário 4			
Vacas de descarte	46	482	22179	Vacas de descarte	46	482	22179
Machos não castrados	112	500	57336	Machos não castrados	113	500	57886
Fêmeas	59	455	28017	Fêmeas	59	455	28033
TOTAL			107532	TOTAL			108098
Cenário 5				Cenário 6			
Vacas de descarte	46	482	22179	Vacas de descarte	46	482	22179
Machos não castrados	113	501	57992	Machos não castrados	154	500	78999
Fêmeas	59	455	28029	Fêmeas	101	455	47764
TOTAL			108200	TOTAL			148942
Cenário 7							
Vacas de descarte	46	482	22179				
Machos não castrados	154	500	79032				
Fêmeas	101	455	47754				
TOTAL			148965				

Legenda: Vacas de descarte se referem as vacas que foram descartadas (Taxa de substituição = 12,5%).

Como o peso de abate foi igual em todos os cenários, o incremento no GMD dos bovinos gerado pela suplementação teve impacto no período de tempo para o animal ser abatido (Figura 03). A idade de abate de machos e fêmeas diminuiu do cenário 1 ao 5. No cenário 6, mesmo com os bovinos sendo suplementados em todas as fases, a terminação foi de longa duração, pois ocorreu em parte na época seca com menor GMD dos animais, o qual resultou em idade de abate intermediária entre os cenários 4 e 5. No cenário 7 foi obtido a menor idade de abate, pois com a terminação em confinamento não houve este efeito da época do ano na fase de terminação.

Do cenário 4 ao 7, a recria para bovinos machos, teve duração inferior a 12 meses, portanto nestes cenários, não houve a categoria, novilhos. Nos cenários 6 e 7 a recria de bovinos fêmeas também durou menos de 12 meses, não havendo nestes cenários a categoria, novilhas.



Figura 03. Idade de abate de machos e fêmeas em cada cenário

A quantidade dos insumos utilizados nos sistemas de produção foi diferente entre cenários (Tabela 05). A quantidade de energia elétrica, calcário, e fertilizantes, variou em função do tamanho da área de pastagem. Adicionalmente a quantidade de energia elétrica foi maior nos cenários 3, 5 e 7, em função do confinamento que consome 4 vezes mais energia, relativamente a produção em pastagem (Cardoso et al., 2016). A quantidade de suplementos aumentou do cenário 1 ao 7, e houve utilização de silagem apenas nos cenários que a terminação ocorreu em confinamento.

Tabela 05: Quantidade dos insumos utilizados em cada cenário

Cenários	Energia elétrica (KWh)	Silagem (kg MS)	Suplemento (kg)	Calcário (kg)	P fertilizante (kg)	K fertilizante (kg)	N fertilizante (kg)
Cenário 1	6677	0	34916	92729	9273	9273	42192
Cenário 2	6588	0	72185	91506	9151	9151	41635
Cenário 3	8116	95917	101406	81872	8187	8187	37252
Cenário 4	6013	0	156777	83516	8352	8352	38000
Cenário 5	7444	96405	186564	72342	7234	7234	32916
Cenário 6	6156	0	265574	85501	8550	8550	38903
Cenário 7	8339	147810	308470	69697	6970	6970	31712

Legenda: Suplemento também inclui os alimentos concentrados utilizados no confinamento; **MS** = Matéria seca; **P** = Fósforo; **K** = Potássio; **N** = Nitrogênio.

2) Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida

A quantidade emitida de CH₄ e N₂O foram calculadas conforme metodologia Tier 2 (IPCC, 2019). A estimativa de CH₄ entérico foi realizada com base no consumo de energia bruta e o fator de conversão de metano (Y_m) de estudos nacionais, 6,6% para animais sob regime de pastejo (Koscheck et al., 2020; Hoffmann et al., 2021; Lima et al., 2022; Teobaldo et al., 2022) e 3,4 para animais em confinamento (De Oliveira et al., 2007; Ribeiro et al., 2016; Rossi et al., 2017). A produção de CH₄ proveniente das fezes, foi calculada com a utilização de fatores de emissão nacional (Tabela 06).

Tabela 06: Fatores de emissão para metano e óxido nitroso

Gás	Cálculo	Fator de Emissão	Época	Referência
CH ₄ fezes	kg.cabeça ⁻¹	0,0023 kg CH ₄ .dia ⁻¹ 0,0014 kg CH ₄ .dia ⁻¹	Águas Seca	Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020
N ₂ O direto	N ₂ O fertilizante N aplicado*FE*(44/28)	0,01 kg N ₂ O.kg N ⁻¹		Cardoso et al. 2019
	N ₂ O excretas Excretado pelos animais*FE*(44/28)	Urina 0,01 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Urina 0,0013 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Fezes 0,0017 kg N ₂ O.kg N ⁻¹ Fezes 0,0017 kg N ₂ O.kg N ⁻¹	Águas Seca Águas Seca	Lessa et al. 2014; Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020; Maciel et al. 2021
N ₂ O indireto	N ₂ O fertilizante N aplicado*N volatilizado*FE*(44/28)	0,01 kg N ₂ O.kg N volatilizado ⁻¹ N volatilized = 16,8% N aplicado N volatilized = 17,0% N aplicado	Águas Seca	Cardoso et al. 2019
	N ₂ O excretas N excretado pelos animais*N volatilizado* FE*(44/28)	0,01 kg N ₂ O.kg N volatilizado ⁻¹ Urina N volatilizado = 12,7% N excretado Urina N volatilizado = 17,4% N excretado Fezes N volatilizado = 3,8% N excretado Fezes N volatilizado = 4,6% N excretado	Águas Seca Águas Seca	IPCC, 2019 Lessa et al. 2014; Cardoso et al. 2019; Bretas et al. 2020

Legenda: CH₄ = Metano; N₂O = Óxido Nitroso; N = Nitrogênio; FE = Fator de Emissão.

A amônia (NH₃) volatilizada e N₂O gerado pelas fezes e urina dos bovinos, bem como da aplicação de fertilizantes N, foram estimados a partir da utilização de fatores de emissão desenvolvidos para a região do Brasil Central. A quantidade de N excretada pelos bovinos não foi informada nos trabalhos revisados, portanto, estimou-se a excreção de N com base nas equações informadas no BR-CORTE (2016). A emissão de CO₂ fóssil, foi obtida por meio da utilização de fatores de

emissão indicados na literatura (Tabela 07).

Tabela 07: Fatores de emissão para dióxido de carbono

Itens	Fator de Emissão	Referência
Calcário	0,476 kg CO ₂ .kg ⁻¹	IPCC, 2019
Energia Elétrica	78 kg CO ₂ .MWh ⁻¹	BEN, 2021
Fertilizante K	1,11 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Ledgard et al. 2011
Fertilizante N	3,88 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Ledgard et al. 2011
Fertilizante P	2,71 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Ledgard et al. 2011
Milho	0,273 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Silagem de milho	0,038 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Soja	0,205 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Suplemento	0,164 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Cardoso et al. 2016
Ureia	0,73 kg CO ₂ .kg ⁻¹	Ledgard et al. 2011

Com base no efetivo bovino e consumo de forragem por cada categoria associado à produção do pasto de 12,9 ton de MS.ha⁻¹.ano⁻¹ e das lavouras de milho para silagem de 12,0 ton de MS. ha⁻¹ e de milho e soja de 5,6 e 3,2 ton. ha⁻¹ (Utilizados no concentrado de bovinos confinados), respectivamente (IBGE, 2021), determinou-se a quantidade necessária de área total. Não foi considerada área de lavoura para produção dos ingredientes utilizados nos suplementos, pois de acordo com D'Aurea et al. (2021) é mais comum no Brasil a compra dos suplementos em lojas agropecuárias.

3) Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

A quantidade de CO_{2eq} produzida foi obtida a partir da soma da quantidade emitida de cada gás, multiplicado pelo seu respectivo fator de conversão, de acordo o potencial de aquecimento global em um horizonte de 100 anos, CO₂ = 1, CH₄ = 27,2 e N₂O = 273 (IPCC, 2021).

$$\text{kg de CO}_2 \text{ equivalente} = (\text{CO}_2 \times 1) + (\text{CH}_4 \times 27,2) + (\text{N}_2\text{O} \times 273)$$

CO_2 = Quantidade emitida de dióxido de carbono (CO_2); CH_4 = Quantidade emitida de metano (CH_4); N_2O = Quantidade emitida de óxido nitroso (N_2O).

Em seguida associou este valor ao ganho de peso dos bovinos para se obter a pegada de carbono, kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC^{-1} . Da mesma forma, o cálculo do uso da terra, foi feito pela associação o tamanho da área de produção ao ganho de peso dos animais, m^2 . kg de PC^{-1} .

3.3. RESULTADOS

Em sistemas de produção de bovinos de corte, as características, tanto do suplemento, quanto do pasto vão variar, no entanto, neste trabalho o foco foi no impacto da suplementação na pegada de carbono. O cenário 1, foi a referência, mesmo com os bovinos recebendo apenas mistura mineral, este cenário foi considerado como um sistema de produção organizado, com manejo razoável, adubação das pastagens e controle dos índices zootécnicos do rebanho.

Pegada de Carbono

A pegada de carbono diminuiu de 20,8 no cenário 1 até 12,7 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$. kg de PC^{-1} , no cenário 7 (Tabela 08). A suplementação apenas na fase de terminação não foi suficiente para reduzir a pegada de carbono, cenários 1 e 2 foram semelhantes entre si. A terminação em confinamento, que ocorreu no cenário 3, foi eficaz na redução da pegada de carbono relativamente aos cenários anteriores. No cenário 4 o aumento na eficiência da recria e terminação, por meio da suplementação, causou redução na pegada de carbono. Essa diminuição foi ainda maior no cenário 5, o qual além da suplementação na recria, houve terminação em confinamento. Nos cenários 6, com suplementação em todas as fases de produção e no 7 com suplementação na cria e recria e terminação em confinamento, obteve-se os menores valores de pegada de carbono.

Tabela 08: Pegada de carbono em cada cenário

Cenários	Metano	Óxido Nitroso	Dióxido de Carbono	Pegada de Carbono (kg CO _{2eq.} PC ⁻¹)
Cenário 1	75,7%	13,1%	11,2%	20,8
Cenário 2	75,2%	13,2%	11,6%	20,3
Cenário 3	75,0%	13,2%	11,7%	19,0
Cenário 4	72,3%	14,4%	13,3%	17,0
Cenário 5	71,9%	14,5%	13,6%	15,6
Cenário 6	74,0%	13,3%	12,7%	14,2
Cenário 7	73,7%	13,3%	13,0%	12,7

Legenda: PC =Peso corporal.

O CH₄ foi a principal fonte de emissão dos GEE, sua representatividade média foi de 74,0%. A contribuição do N₂O foi em média de 13,6% e a do CO₂ de 12,4% (Tabela 08). O N₂O foi a segunda maior fonte de emissão e o GEE de menor representatividade foi o CO₂.

Em todos os cenários, a fase de cria foi à principal fonte de emissão, com representatividade de 58 a 77% das emissões totais do sistema de produção (Gráfico 01). A recria contribui de 17 a 33% e a terminação foi a fase de menor representatividade, 4 a 16%. A intensificação nas fases de recria e terminação, por meio da suplementação e/ou confinamento, cenários 2, 3, 4 e 5 elevaram ainda mais a representatividade da fase de cria. Entre todos os cenários, o 1 é o que teve a menor representatividade da cria nas emissões de GEE. A proporção da fase de recria foi maior nos cenários que apenas a terminação foi intensificada (Cenários 2 e 3), devido a menor proporção da fase de terminação nestes cenários.

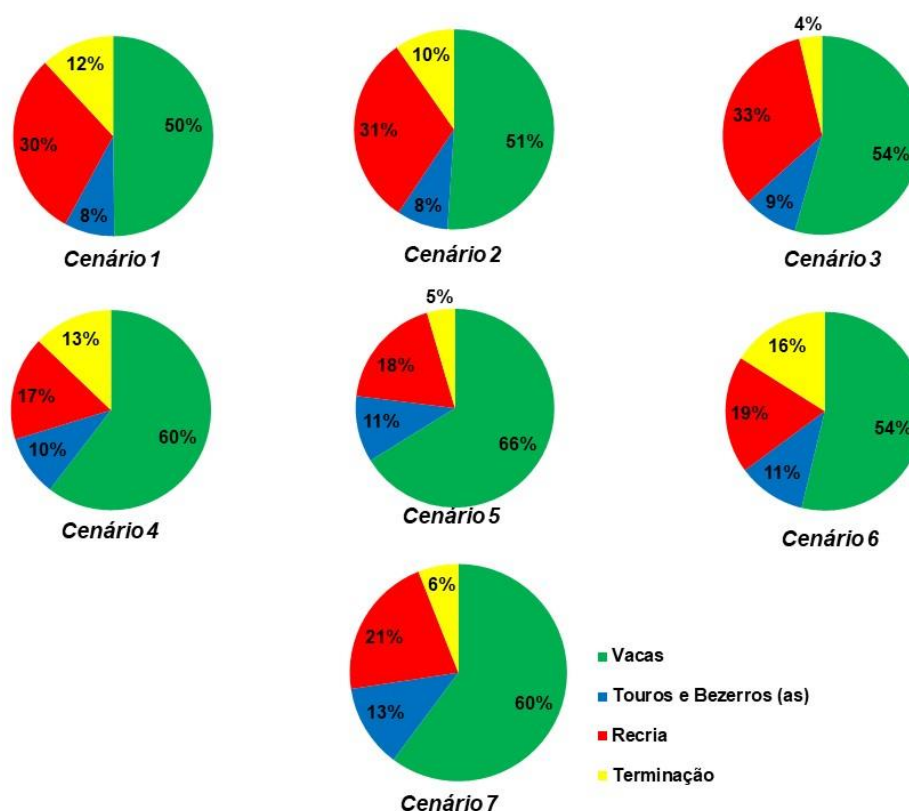


Gráfico 01. Proporção da emissão de gases de efeito estufa de cada fase de produção em cada cenário

Uso da Terra

O uso da terra reduziu de 43, no cenário 1, a 26 m². kg PC⁻¹ no cenário 7 (Tabela 09). Ao contrário do que ocorreu para o uso da terra, a produtividade aumentou de 232 no cenário 1 até 391 kg de PC. ha⁻¹, no cenário 7. Do cenário 1 ao 5, o uso da terra diminuiu e a produtividade aumentou em função da redução da área de produção. Nos cenários 6 e 7, o aumento na quantidade de animais abatidos foi relativamente superior ao aumento da área de produção, portanto, a produtividade foi maior e o uso da terra menor em relação aos cenários anteriores.

Tabela 09: Uso da terra e produtividade em cada cenário.

Cenários	Taxa de lotação (UA. ha ⁻¹)	Pastagem (ha)	Lavoura (ha)	Total (ha)	PC. ha ⁻¹ (kg)	Uso da terra (m ² . PC ⁻¹)
Cenário 1	2,1	464	0	464	232	43
Cenário 2	2,2	458	0	458	235	43
Cenário 3	2,3	409	21	431	249	40
Cenário 4	2,2	418	0	418	259	39
Cenário 5	2,4	362	21	384	282	35
Cenário 6	2,4	428	0	428	348	29
Cenário 7	2,7	348	32	381	391	26

Legenda: PC = Peso Corporal; UA = Unidade Animal (450 kg de PC); ha = hectares.

3.4. DISCUSSÃO

Pegada de Carbono

Bovinos de corte apresentam crescimento compensatório, quando são adequadamente nutridos, após um período de restrição alimentar (Silva et al., 2021b). É comum no Brasil que ocorra em diferentes níveis, restrição nutricional para os bovinos, principalmente no período da seca quando é fornecido apenas mistura mineral ou até suplementação de baixo consumo. Esta situação poderia modificar os resultados do presente estudo, principalmente nos cenários em que os animais receberam apenas mistura mineral na época da seca. Entretanto, devido a lacuna de informações, foi desconsiderado o efeito de crescimento compensatório.

A pegada de carbono média da pecuária de corte brasileira é de 20,7 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹ (Cardoso et al., 2016). Este valor é semelhante ao cenário 1, 20,8 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹, o menos intensivo do presente estudo, no qual foi considerado fornecimento de mistura mineral durante todo o ciclo de vida dos bovinos.

O aumento no GMD e redução na idade de abate têm sido recomendados como estratégias de redução da pegada de carbono da bovinocultura de corte (Cardoso et al., 2016; Buratti et al., 2017). Com exceção da suplementação apenas na fase de terminação, todas as demais estratégias de suplementação elevaram o GMD e

reduziram a idade de abate e a pegada de carbono. No confinamento além do maior GMD e menor duração da fase entre as estratégias de terminação, houve menor produção diária de CH_4 (g.dia^{-1}), comparativamente a bovinos criados a pasto, em função do menor Y_m .

A principal recomendação para diminuir a pegada de carbono da bovinocultura de corte é elevar a taxa de natalidade do rebanho (Ogino et al., 2007; Beauchemin et al., 2010; Cardoso et al., 2016; D'Aurea et al., 2021). A suplementação na fase de cria, especialmente das vacas, resultou nos menores valores de pegada de carbono (Cenários 6 e 7), devido principalmente ao aumento na taxa de natalidade. Adicionalmente, no cenário 7, no qual foi associada a suplementação na fase de cria e recria a terminação em confinamento, obteve-se a menor pegada de carbono entre todos os cenários.

No cenário 6, com suplementação em todas as fases, mesmo com a maior idade de abate dos bovinos, a pegada de carbono foi menor em relação ao cenário 5, o qual teve suplementação na recria e terminação confinada. Nesta situação, o aumento na taxa de natalidade como resultado da suplementação das vacas se mostrou a alternativa mais eficaz em reduzir a pegada de carbono do ciclo completo de produção de bovinos de corte.

Como neste estudo o ciclo completo de produção foi modelado a partir da integração entre estratégias de suplementação de diferentes categorias animal, não foi possível definir quais seriam os rendimentos de carcaça adequados para cada cenário, tendo em vista a influência das etapas anteriores a terminação neste índice. No entanto, bovinos alimentados com dietas mais concentradas possuem maior rendimento de carcaça, portanto os cenários mais intensivos avaliados neste estudo tendem a ter a pegada de carbono ainda menor, relativamente ao cenário 1, caso seja considerado a emissão de $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$ $\text{kg de carcaça}^{-1}$.

Cardoso et al. (2016) estimaram a pegada de carbono de diferentes níveis de intensificação da pecuária de corte na região do Brasil Central. Nos dois cenários mais intensivos, com suplementação ou terminação em confinamento, a pegada de carbono foi respectivamente de 16,6 e 15,7 $\text{kg de CO}_{2\text{eq}}$ kg de PC^{-1} . O primeiro valor é semelhante ao cenário 4 e o segundo valor é igual ao obtido no cenário 5. Os cenários 6 e 7, os mais intensivos, apresentaram valores ainda menores que os reportados por Cardoso, o qual mostra um potencial ainda maior de redução da

pegada de carbono da pecuária de corte brasileira na principal região produtora do país. Nos dois sistemas extensivos avaliados por Cardoso a pegada de carbono foi de 20,7 e 28,6 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹, respectivamente, sendo o primeiro a média nacional e o segundo um sistema ainda mais extrativista.

D'Aurea et al. (2021), calcularam a pegada de carbono de fazendas de bovinos de corte na região do Brasil Central. Entre as fazendas de ciclo completo avaliadas, duas apresentaram pegada de carbono de 19,0 e 20,6 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹. Este primeiro valor é igual ao do cenário 3 e o segundo valor é semelhante aos cenários 1 e 2. A idade de abate dos bovinos destas fazendas analisadas por D'Aurea foram respectivamente de 24 e 26 meses, semelhantes aos cenários 3 e 4. Não foi informado no trabalho de D'Aurea, mas provavelmente a taxa de natalidade destas fazendas tenha sido inferior ao deste estudo, o que explicaria a maior pegada de carbono, mesmo com menor idade de abate. Duas outras fazendas de ciclo completo do trabalho D'Aurea apresentaram valores de 30,1 e 35,2 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹, os quais são muito maiores até que a média nacional.

Estudos de pegada de carbono da bovinocultura de corte já foram realizados em diversas partes do mundo. Dick et al. (2015) calcularam a emissão de 9,2 a 22,5 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹ no Estado do Rio Grande do Sul, Ogino et al. (2007) no Japão, estimaram a produção de 14,6 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹. Beauchemin et al. (2010) calcularam a emissão de 13,0 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹ no Estado de Alberta, Canadá, Buratti et al. (2017), estimaram a produção de 18,2 e 24,6 kg de CO_{2eq.} kg de PC⁻¹ pelo sistema de produção convencional e orgânico, respectivamente, na Itália.

Há uma grande diversidade de sistemas de produção de bovinos de corte ao redor do mundo com diferentes raças, alimentos utilizados, idade e peso de abate, dentre outros fatores que tem influência na pegada de carbono. Comparado aos resultados de Ogino et al. (2007), Beauchemin et al. (2010) e Buratti et al. (2017), o Brasil possui potencial de obter o menor valor de pegada de carbono. Em relação ao cenário 1, utilizado como referência neste estudo e que foi semelhante a média nacional, há um potencial de redução da pegada de carbono de até 39,2%.

A utilização de distintos valores de potencial de aquecimento global do CH₄, 22 (Dick et al., 2015), 23 (Ogino et al., 2007; Beauchemin et al., 2010), 25 (Cardoso et al., 2016; Buratti et al., 2017) e do óxido nitroso, 265 (Buratti et al., 2017) 296 (Ogino et al., 2007) e 298 (Beauchemin et al., 2010; Cardoso et al., 2016; Dick et al., 2015),

dificultam a comparação entre trabalhos. Estes valores são periodicamente atualizados pelo IPCC e é provável que esta limitação continue ocorrendo.

Quanto a representatividade dos GEE, a maior proporção do CH₄, está de acordo com o que tem sido reportado para bovinocultura de corte (McAuliffe et al., 2018; Cusack et al., 2021). O N₂O foi o segundo GEE mais representativo, semelhante ao que tem sido encontrado por outros autores (Beauchemin et al., 2010; Rotz et al., 2019). Os valores obtidos para o CH₄, N₂O e CO₂ estão dentro do intervalo de representatividade já reportado para estes gases, de 48 (Ogino et al., 2007) a 98% (Ruviaro et al., 2015) para o CH₄, 3,5 a 33,0% (D'Aurea et al., 2021) para o N₂O e de 0 (D'Aurea et al., 2021) a 17% (Rotz et al., 2019) para o CO₂.

Embora o CH₄ seja o GEE mais representativo, este é gerado a partir da degradação da fibra, principalmente da forragem, a qual não é um alimento consumido por humanos. Adicionalmente, cerca de 26% das áreas do planeta são de pastagens (Cardoso et al., 2020), dessa maneira, fica bastante claro os importantes serviços ecossistêmicos realizados pelos ruminantes.

A respeito das fases de produção, tem sido reportado que as vacas são a grande fonte de emissão de GEE e que é na cria que estão as grandes oportunidades de mitigação (Ogino et al., 2007; Beauchemin et al., 2010; D'Aurea et al., 2021). A melhora na eficiência da terminação e da recria aumentaram a representatividade da fase de cria, quando está não foi intensificada (Cenários 2, 3, 4 e 5). Essa proporção foi ainda maior quando a terminação ocorreu em confinamento (Cenários 3 e 5). Entretanto, é improvável que a fase de cria deixe de ser a mais representativa, pois mesmo quando está foi intensificada, cenários 6 e 7, continuou sendo a maior fonte de emissão de GEE. A menor proporção da terminação em confinamento coloca esta estratégia em destaque na redução da pegada de carbono (Cenários 3, 5 e 7).

Uso da Terra

Embora o cenário 1 tenha apresentado pegada de carbono semelhante à média nacional, houve neste cenário a adubação das pastagens e eficiência de pastejo razoável, 40%, semelhante aos demais cenários, o qual resultou no dobro de produtividade e taxa de lotação em relação à média da pecuária de corte brasileira em 2021, que foi de 119 kg de PC. ha⁻¹ e 0,9 UA. ha⁻¹, respectivamente (ABIEC, 2022).

Dois fatores contribuem para reduzir o uso da terra, o aumento na produção e a diminuição na quantidade de área utilizada. O aumento na taxa de natalidade foi o fator que proporcionou maior aumento da produção, devido o crescimento do efetivo. Já o confinamento foi à estratégia que gerou maior redução na área demandada para a operação. No cenário 7, no qual houve a associação destas duas estratégias, o uso da terra foi 40,7% menor em comparação ao cenário 1 e 69,6% em relação a média brasileira.

Cardoso et al. (2016) reportaram necessidade de 25 e 23 m². kg de PC⁻¹ em dois sistemas intensivos de produção de bovinos de corte no Brasil Central. Estes resultados são inferiores ao obtido no cenário 7, 26 m². kg de PC⁻¹. O peso das vacas, que possuem grande representatividade no rebanho, (Cerca de 30%) foi de 430 kg no trabalho de Cardoso, contra 482 kg no presente estudo, o que pode ter contribuído com a menor demanda de terra para operação, já que o PC tem alta correlação com o CMS (BR-CORTE, 2016). Nos dois sistemas mais extensivos do trabalho de Cardoso foi preciso 68 e 157 m². kg de PC⁻¹, valores maiores que o obtido em todos os cenários do presente estudo.

Poucos trabalhos avaliaram o uso da terra pela bovinocultura de corte. Dick et al. (2015) reportaram a necessidade de 21 a 235 m². kg de PC⁻¹, no Estado do Rio Grande do Sul. No trabalho de Beauchemin et al. (2010) foi estimada a necessidade de 55,9 m². kg de PC⁻¹ no Estado de Alberta, Canadá. A comparação destes resultados com o presente estudo é difícil, devido principalmente a grande diferença de condições edafoclimáticas e genética dos bovinos.

Mesmo com o uso da terra pouco maior que o obtido por Cardoso et al. (2016) na mesma região, dentro dos cenários avaliados neste estudo, a suplementação reduziu o uso da terra, relativamente ao cenário 1. O aumento na eficiência de pastejo seria uma alternativa adicional para diminuir ainda mais a área necessária para produção. Estes resultados, assim como já reportado por outros trabalhos (Silva et al., 2021a), mostram que não é preciso desmatar novas áreas para aumentar a produção de carne bovina. Pelo contrário, é possível ao mesmo tempo, aumentar a produção e diminuir o uso da terra.

3.5. CONCLUSÕES

A suplementação de bovinos de corte diminui a pegada de carbono e uso da terra. O potencial de redução na pegada de carbono e uso da terra relativamente ao cenário 1 é de 39,2 e 40,7%, respectivamente. Em relação a média nacional há um potencial de redução de 39,2% na pegada de carbono e de até 69,6% no uso da terra. O CH₄ é o gás que mais contribui com a emissão de GEE e a menor representatividade média é do CO₂. Estratégias que diminuam a intensidade de emissão de CH₄ (kg CH₄. PC⁻¹), como o aumento no GMD e redução na idade de abate são mais eficazes na redução da pegada de carbono. A cria é a fase de maior representatividade na emissão de GEE e a terminação a menor. O aumento na taxa de natalidade é a principal estratégia de redução na pegada de carbono e uso da terra. Adicionalmente, a terminação em confinamento também é destaque em diminuir estes valores.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil. **Beef REPORT**, p. 72, 2022.

Beauchemin KA, Janzen HH, Little SM, McAllister TA, McGinn SM (2010) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 371-379.

BEN. Relatório Síntese 2021. Balanço Energético Nacional, 72 pags.

BR-CORTE. **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados**: 3^a Ed. – Viçosa (MG): UFV, DZO, 2016.

Bretas IL, Paciullo DSC, Alves BJR, Martins MR, Cardoso AS, Lima MA, Rodrigues RAR, Silva FF, Chizzotti FHM (2020) Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106896.

Buratti C, Fantozzi F, Barbanera M, Lascaro E, Chiorri M, Cecchini L (2017) Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 129-137.

Cappellozza BI, Velasco AC, Tongu C, Moraes G, Dib R, Cervieri R (2020) Effects of supplement amount, with or without calcium salts of fatty acids, on growth performance

and intake behavior of grazing *Bos indicus* bulls. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 2, p. 799-808.

Cardoso AS, Barbero RP, Romanzini EP, Teobaldo RW, Ongaratto F, Machado MH, Ruggieri AC, Reis RA (2020) Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in *Brachiaria* Grasslands. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 6656.

Cardoso AS, Berndt A, Leytem A, Alves BJR, Carvalho INO, Soares LHB, Urquiaga S, Boddey RM (2016) Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v. 143, p. 86-96.

Cardoso AS, Oliveira SC, Januszkiewicz ER, Brito LF, Morgado ES, Reis RA, Ruggieri AC (2019) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104341.

Congio GFS, Chiavegato MB, Batalha CDA, Oliveira PPA, Maxwell TMR, Gregorini P, Da Silva SC (2019) Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 493-500.

Cooke RF, Cardoso RC, Cerri RLA, Lamb GC, Pohler KG, Riley DG, Vasconcelos JLM (2020) Cattle adapted to tropical and subtropical environments: genetic and reproductive considerations. **Journal of animal science**, v. 98, n. 2, p. skaa 015.

Cusack DF, Kazanski CE, Hedgpeth A, Chow K, Cordeiro AL, Karpman J, Ryals R (2021) Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. **Global change biology**, v. 27, n. 9, p. 1721-1736.

D'Aurea AP, Cardoso AS, Guimarães YSR, Fernandes LB, Ferreira LE, Reis RA (2021) Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7207.

De Andrade TS, Albertini TZ, Barioni LG, Medeiros SR, Millen DD, Santos ACR, Goulart RS, Lanna DPD (2020) Perception of consultants, feedlot owners, and packers regarding management and marketing decisions on feedlots: a national survey in Brazil (Part II). **Canadian Journal of Animal Science**, v. 100, n. 4, p. 759-770.

Delevatti LM, Cardoso AS, Barbero RP, Leite RG, Romanzini EP, Ruggieri AC, Reis RA (2019) Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality and animal performance in tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9.

De Oliveira SG, Berchielli TT, Pedreira MS, Primavesi O, Frighetto R, Lima MA (2007) 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.

De Paula NF, Paulino MF, Couto VRM, Detmann E, Maciel IFS, Barros LV, Lopes SA, Valente EEL, Zervoudakis JT, Martins LS (2019) Effects of supplementation plan on intake, digestibility, eating behavior, growth performance, and carcass characteristics of grazing beef cattle. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6 Supl 2, p. 3233-3248.

Detmann E, Valente EEL, Batista ED, Huhtanen P (2014) An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153.

Dick M, Silva MA, Dewes H (2015) Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 426-434.

Euclides Filho K (2000) Produção de bovinos de corte e o trinômio genótipo-ambiente-mercado. Embrapa **Gado de Corte-Documentos (INFOTECA-E)**.

Fagundes JL, Fonseca DM, Gomide JA, Nascimento Junior D, Vitor CMT, Moraes RV, Mistura C, Reis GC, Martuscello JA (2005) Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 397-403.

Flores RS, Euclides VPB, Abrão MPC, Galbeiro S, Difante GS, Barbosa RA (2008) Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1355-1365.

Hoffmann A, Cardoso AS, Fonseca NVB, Romanzini EP, Siniscalchi D, Berndt A, Ruggieri AC, Reis RA (2021) Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH₄ emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. **Animal**, p. 100155.

IBGE (2021) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Área, produção e rendimento médio – Confronto das safras 2020 e das estimativas para 2021. Access in December 8, 2021. Disponible in <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>

IPCC, (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2019) Refinement the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Emissions From Livestock and Manure Management. **Forestry**, v. 4, p.87.

Koscheck JFW, Romanzini EP, Barbero RP, Delevatti LM, Ferrari AC, Mulliniks JT, Mousquer CJ Berchielli TT, Reis RA (2020) How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation?. **Animal Production Science**, v. 60, n. 9, p. 1201-1209.

Lana Ferreira MF, Rennó LN, Detmann E, Paulino MF, Valadares Filho SC, Moreira SS, Martins HC, Oliveira BIC, Marquez JA, Cidrini IP (2020) Performance, metabolic and hormonal responses of grazing Nellore cows to an energy-protein supplementation during the pre-partum phase. **BMC Veterinary Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13.

Ledgard SF, Boyes M, Brentrup F (2011) Life cycle assessment of local and imported fertilisers used on New Zealand farms. **Ministry of Agriculture and Forestry**.

Lessa ACR, Madari BE, Paredes DS, Boddey RM, Urquiaga S, Jantalia CP, Alves BJR (2014) Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 104-111.

Lima L, Ongaratto F, Fernandes M, Cardoso A, Lage J, Silva L, Reis R, Malheiros E (2022) Response of Pasture Nitrogen Fertilization on Greenhouse Gas Emission and Net Protein Contribution of Nellore Young Bulls. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3173.

Lupinacci AV (2002) **Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em Brachiaria brizantha cv. Marandu submetida a intensidades de pastejo por bovinos de corte**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002. Acess in 06/06/2022.

Maciel ICF, Barbosa FA, Tomich TR, Ribeiro LGP, Alvarenga RC, Lopes LS, Malacco VMR, Rowntree JE, Thompson LR, Lana AMQ (2021) Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system?. **PloSone**, v. 14, n. 7, p. e0220247.

Machado JM, Motta EAM, Barbosa MR, Weiler RL, Mills A, Ongaratto F, Maidana FM, Montagner P, Rodrigues DPA, Silveira DC (2022) Strategies to mitigate the emission of methane in pastures: enteric methane: A review. **Australian Journal of Crop Science**, 16(06), p. 682-690.

MAPA (2004) Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 12 de 30 de Novembro de 2004. Regulamento Técnico Sobre Fixação de Parâmetros e das Características Mínimas dos Suplementos Destinados a Bovinos. Brasília, DF, 30/11/ 2004.

McAuliffe GA, Takahashi T, Orr RJ, Harris P, Lee MRF (2018) Distributions of emissions intensity for individual beef cattle reared on pasture-based production systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1672-1680.

Ogino A, Orito H, Shimada K, Hirooka H (2007) Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method. **Animal Science Journal**, v. 78, n. 4, p. 424-432.

Pinto ACJ e Millen DD (2018) Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 99, n. 2, p. 392-407.

Poppi DP, Quigley SP, Da Silva TACC, McLennan SR (2018) Challenges of beef cattle production from tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47.

Portes JV, Menezes GRO, Macneil MD, Da Silva LOC, Gondo A, Neto JB (2020) Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. **Livestock Science**, v. 242, p. 104309.

Ribeiro AF, Messana JD, José Neto A, Lage JF, Fiorentini G, Vieira BR, Berchielli TT (2016) Enteric methane emissions, intake, and performance of young Nellore bulls fed different sources of forage in concentrate-rich diets containing crude glycerine. **Animal Production Science**, v. 58, n. 3, p. 517-522.

Rossi LG, Fiorentini G, Vieira BR, José Neto A, Messana JD, Malheiros EB, Berchielli TT (2017) Effect of ground soybean and starch on intake, digestibility, performance, and methane production of Nellore bulls. **Animal Feed Science and Technology**, v. 226, p. 39-47.

Rotz CA, Asem-Hiable S, Place S, Thoma G (2019) Environmental footprints of beef cattle production in the United States. **Agricultural Systems**, v. 169, p. 1-13.

Ruggieri AC, Cardoso AS, Ongaratto F, Casagrade DR, Barbero RP, Brito LF, Azenha MV, Oliveira AA, Koscheck JFW, Reis RA (2020) Grazing Intensity Impacts on Herbage Mass, Sward Structure, Greenhouse Gas Emissions, and Animal Performance: Analysis of Brachiaria Pastureland. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1750.

Ruviaro CF, De Léis CM, Lampert VN, Barcellos JOJ, Dewes H (2015) Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 435-443, 2015.

Silva RO, Barioni LG, Moran D (2021a) Fire, deforestation, and livestock: When the smoke clears. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104949.

Silva TACC, Quigley SP, Kidd LJ, Anderson ST, McLennan SR, Poppi DP (2021b) Effect of a high crude protein content diet during energy restriction and re-alimentation on animal performance, skeletal growth and metabolism of bone tissue in two genotypes of cattle. *Plos one*, v. 16, n. 2, p. e0247718, 2021.

Teobaldo RW, Cardoso AS, Brito TR, Leite RG, Romanzini EP, Granja-Salcedo YT, Reis RA (2022) Response of Phytogenic Additives on Enteric Methane Emissions and Animal Performance of Nellore Bulls Raised in Grassland. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9395.

Vaz RZ, Silveira MF, Restle J, Machado DS, Silva HR, Bethancourt-Garcia JA, Conceição VGD (2020) Época de parto e produção de leite na eficiência bioeconômica de rebanhos de vacas de corte. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e216997240-e216997240.

4. CAPÍTULO 4 – Considerações finais

Há grande heterogeneidade de sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil Central, cada um com suas particularidades. Segundo Da Silva et. (2022), a adoção de novas tecnologias é mais aceita pelos produtores quando, aumentam a lucratividade do negócio, associado a disponibilidade de assistência técnica, estímulo do governo e financiamento.

Os resultados do presente estudo mostraram que simultaneamente a redução da pegada de carbono, que foi de até 39,2% e uso da terra, de até 69,6%, relativamente a média nacional, houve aumento na produtividade em até 304,3%. Sistemas de produção de bovinos de corte com maiores produtividades, obtidas por meio da otimização da utilização dos recursos, principalmente financeiros, forrageiros e relacionados a nutrição, são também mais lucrativos e sustentáveis.

A formação de recursos humanos capacitados para atuar em sistemas de produção de bovinos de corte, com o desafio de alinhar gestão financeira, econômica e operacional ao aumento da produtividade de maneira sustentável, em um contexto de mudanças climáticas, é indispensável, tendo em vista que os produtores precisam ser assistidos.

O Brasil na Confederação das partes (COP) 26, em 2021, estabeleceu a meta de reduzir em 37,0% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2025 e em 50,0% até 2030 (UNFCCC, 2022), relativamente ao ano de 2005. Os resultados do presente estudo mostram que a pecuária de corte muito tem a contribuir com o cumprimento dos compromissos climáticos do governo brasileiro. É necessário que seja estimulado a adoção de práticas sustentáveis, como as descritas no plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária (ABC+). Financiamentos com prazos e taxas de juros adequados também são necessários na transição para uma pecuária de baixa emissão de carbono.

A sustentabilidade, resiliência e maior capacidade de adaptação dos sistemas de produção de bovinos de corte, frente aos desafios das mudanças climáticas é uma realidade. Produtores que não se adequarem a este cenário não permanecerão na atividade no médio e longo prazo. O governo, por meio de políticas, financiamento e

recursos humanos para assistência técnica, deve buscar abranger o máximo possível de produtores, levando em consideração as particularidades de cada sistema de produção, não deixando ninguém para trás.

4.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Da Silva HMS, Dubeux Jr JCB, Silveira ML, Lira Jr MA, Cardoso AS, Vendramini JMB (2022) Greenhouse gas mitigation and carbon sequestration potential in humid grassland ecosystems in Brazil: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116269.

UNFCCC (2022) Nationally Determined Contributions Registry, **United Nations Climate Change**, Disponível em: <https://unfccc.int/NDCREG>. Acesso em 26/11/2022.