



AVALIAÇÃO FINANCEIRA E DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
DE SISTEMAS DE BAIXO CARBONO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

Stella Mainardi Nogueira da Gama

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Joana Correia de Oliveira de
Portugal Pereira
André Frossard Pereira de Lucena

Rio de Janeiro

Julho de 2022

AVALIAÇÃO FINANCEIRA E DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
DE SISTEMAS DE BAIXO CARBONO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

Stella Mainardi Nogueira da Gama

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientadores: Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira

André Frossard Pereira de Lucena

Aprovada por: Profa. Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira.

Dr. Régis Rathmann.

Dr. Alexandre de Carvalho Koberle.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2022

Gama, Stella Mainardi Nogueira da

Avaliação Financeira e de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Sistemas de Baixo Carbono na Agropecuária Brasileira /Stella Mainardi Nogueira da Gama – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2022.

XVIII, 216 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Joana Correia de Oliveira de Portugal
Pereira

André Frossard Pereira de Lucena

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 136-159.

1. Emissões de Gases de Efeito Estufa 2. Agropecuária de baixo carbono 3. Avaliação de Ciclo de Vida 4. Custos de abatimento. I. Pereira, Joana Correia de Oliveira de Portugal, *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título

“Um ser humano só cumpre o seu dever quando tenta aperfeiçoar os dotes que a natureza lhe deu.”

-Hermann Hesse

“Para mim, produzir e gerar alimento é quase um ato sagrado”

-Herbert Bartz

entrevista para a TV IAPAR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, que me possibilitou ser aprovada no mestrado do PPE, um programa de pós-graduação de referência internacional na área de meio ambiente e energia. Me sinto honrada de fazer parte do seletivo grupo de alunos e ex-alunos desta prestigiosa instituição de ensino que é a COPPE-UFRJ.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, Tereza Helena e Ricardo, que foram meus maiores incentivadores a fazer esse mestrado. A pandemia aumentou nossa proximidade, fazendo com que eles acompanhassem de perto os meus momentos de tensão e alegria com as aulas e as provas do PPE. A vocês, meu muito obrigada por me escutarem, orientarem e acreditarem no meu potencial!

Agradeço também ao meu irmão Bernardo, à minha cunhada Cláudia e à minha tia Ana Luíza, que muito escutaram meus desabafos e preocupações, e que também foram fundamentais para que eu escolhesse o PPE. Meus agradecimentos ao primo Ricardo Cardoso, médico veterinário e fazendeiro em Minas Gerais. Obrigada pelas conversas, Ricardo, e por sempre se mostrar disposto a me ajudar com os dados para a dissertação!

Também agradeço aos meus amigos de colégio, faculdade e vida, pelos conselhos e pelo ombro amigo, especialmente à Duda, Nati, Ana Clara, Gabi, Matheus, Camila e Rafael. Obrigada pelo apoio!

Agradeço também a todos os colegas de PPE, especialmente a Clarissa e ao Gerd. Lembrarei com carinho dos estudos em conjunto e das monitorias. Obrigada pelos papos e por todos os momentos em que dividimos nossos pensamentos, nossas aflições e alegrias!

Aos meus orientadores, Joana e André, meu muito obrigada pelas inúmeras explicações, correções, ideias e reuniões! Sem o auxílio e a orientação de vocês esta dissertação não seria possível. Agradeço também à equipe administrativa, especialmente à Sandrinha e ao Paulo, por sempre tirarem minhas dúvidas, por e-mail e presencialmente.

Por último, agradeço ao governo federal que, por meio do CNPq, me concedeu uma bolsa para que eu desenvolvesse esta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO FINANCEIRA E DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE SISTEMAS DE BAIXO CARBONO NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA

Stella Mainardi Nogueira da Gama

Julho/2022

Orientadores: Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira

André Frossard Pereira de Lucena

Programa: Planejamento Energético

Esta dissertação buscou avaliar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), os resultados financeiros e os custos de abatimento relacionados à intensificação da produção pecuária no Centro-Oeste brasileiro em três diferentes escalas de produção. As estratégias de intensificação avaliadas incluem semiconfinamento, confinamento e sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP). Inicialmente, a linha de base e as estratégias de intensificação tiveram seus parâmetros técnicos estabelecidos e as emissões de GEE calculadas. Posteriormente, foram determinados os custos de produção, as receitas e os indicadores financeiros relacionados à linha de base e às estratégias intensivas. Seguiu-se a essa etapa o cálculo do custo de abatimento de GEE da intensificação pecuária. A estratégia linha de base registrou a maior pegada de GEE. Todas as estratégias intensivas apresentaram uma redução de pelo menos 45% das emissões de GEE por kg de carcaça, sendo a estratégia ILP a de menor pegada de GEE. Ao contabilizar o carbono orgânico no solo, esta redução se tornou ainda maior. Na pequena escala de produção, apenas a estratégia ILP foi mais lucrativa que a linha de base, Sistema Extensivo. No entanto, na média e na larga escala, todas as estratégias intensivas registraram lucros superiores. A redução das emissões de GEE por produto e os lucros maiores possibilitaram custos de abatimento de GEE negativos na média e na larga escalas de produção.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

FINANCIAL AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS EVALUATION OF LOW-CARBON SYSTEMS IN BRAZILIAN AGRICULTURE AND LIVESTOCK SECTOR

Stella Mainardi Nogueira da Gama

July/2022

Advisors: Joana Correia de Oliveira de Portugal Pereira

André Frossard Pereira de Lucena

Department: Energy Planning

This dissertation sought to evaluate greenhouse gas (GHG) emissions, financial results and abatement costs related to the intensification of livestock production in the Brazilian Midwest at three different production scales. The intensification strategies evaluated include semi-confinement, confinement, and integrated crop-livestock (ILP, in Portuguese) systems. Initially, the baseline and the intensification strategies had their technical parameters established and the GHG emissions calculated. Subsequently, production costs, revenues and financial indicators related to the baseline and intensive strategies were determined. This step was followed by the calculation of the GHG abatement cost of livestock intensification. The baseline strategy recorded the largest GHG footprint. All intensive strategies showed a reduction of at least 45% of GHG emissions per kg of carcass, with the ILP strategy having the lowest GHG footprint. When accounting for the organic carbon stored in the soil, this reduction became even greater. On the small scale of production, only the ILP was more profitable than the baseline, Extensive System. However, on medium and large scale, all intensive strategies recorded higher profits. The reduction of GHG emissions per product and the higher profits made possible negative GHG abatement costs in the medium and large scale of production.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	3
1.3 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	3
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	6
2.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O SETOR AGROPECUÁRIO.....	6
2.2 PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA, SOJA E MILHO	9
2.3 EMISSÕES DE GEE DA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 MEDIDAS DE REDUÇÃO DE GEE	12
3.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E A CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE NA AGROPECUÁRIA	18
3.3 AVALIAÇÃO FINANCEIRA NA AGROPECUÁRIA.....	25
3.4 CUSTOS DE ABATIMENTO NA AGROPECUÁRIA.....	26
4. METODOLOGIA	30
4.1 ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE.....	31
4.1.1 Estratégia Sistema Extensivo – linha de base.....	32
4.1.2 Estratégia Semiconfinamento	33
4.1.3 Estratégia Confinamento	34
4.1.4 Estratégia Integração Lavoura-Pecuária.....	35
4.1.5 Comparação entre as estratégias	39
4.2 ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GEE	44
4.2.1 Fronteiras do sistema.....	45
4.2.2 Escolha da unidade funcional	46

4.2.3	Inventário e fontes de emissões de GEE da fazenda	47
4.2.4	Inventário e fontes de emissões de GEE à montante.....	54
4.2.5	Alocação das emissões de GEE	54
4.2.6	Avaliação de impacto ambiental.....	55
4.3	ANÁLISE FINANCEIRA	56
4.3.1	Custos.....	57
4.3.2	Receitas	68
4.3.3	Indicadores financeiros	69
4.4	CUSTOS DE ABATIMENTO	70
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	71
5.	RESULTADOS	73
5.1	ANÁLISE DE EMISSÕES DE GEE	73
5.1.1	Produção do gado.....	73
5.1.2	Emissões de GEE do gado bovino de corte.....	74
5.1.3	Emissões de GEE da soja e do milho safrinha vendidos.....	76
5.1.4	Carbono orgânico no solo.....	77
5.1.5	Análise contributiva das estratégias	80
5.2	ANÁLISE FINANCEIRA	86
5.2.1	Fluxos de caixa	86
5.2.2	Indicadores financeiros	88
5.3	CUSTOS DE ABATIMENTO	93
5.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	96
6.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	103
6.1	PRODUTIVIDADE E USO DO SOLO.....	103
6.2	CARBONO ORGÂNICO NO SOLO	104
6.3	EMISSÕES DE GEE DO GADO	106
6.4	EMISSÕES DE GEE DA SOJA E DO MILHO SAFRINHA	110

6.5	PERFIL DAS EMISSÕES DE GEE	114
6.5.1	Gado	114
6.5.2	Soja e milho safrinha.....	116
6.6	DESEMPENHO FINANCEIRO	117
6.7	CUSTOS DE ABATIMENTO	123
6.8	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	126
6.9	PERSPECTIVAS PARA A INTENSIFICAÇÃO DA PECUÁRIA DE CORTE NO BRASIL	128
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	132
8.	REFERÊNCIAS.....	136
	ANEXO I.....	160
	ANEXO II	179
	ANEXO III.....	196
	ANEXO IV	197
	ANEXO V.....	200

Lista de Figuras

Figura 1: Estrutura de ACV. Elaboração própria com base em Brandão, Mila i Canals e Clift (2021), Guinée e Heijungs (2005) e SAIC (2006).....	19
Figura 2: Ilustração da estratégia de expansão das fronteiras do sistema: a) o sistema original I é expandido para incluir o sistema II; b) expansão do sistema por adição; c) expansão do sistema por subtração. Baseada em Azapagic e Clift (1999).	22
Figura 3: Fluxograma com as principais etapas do trabalho. Elaboração própria.....	30
Figura 4: Esquema de rotação entre as áreas de pastejo e agricultura no sistema ILP em questão. Elaboração própria.	37
Figura 5: Fluxograma das etapas da análise de emissões de GEE. Elaboração própria.	45
Figura 6: Fronteiras do sistema avaliadas no presente trabalho. Elaboração própria.....	46
Figura 7: Fluxograma da análise financeira.	56
Figura 8: Área da propriedade na estratégia Sistema Extensivo.	65
Figura 9: Área da propriedade nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento.	65
Figura 10: Área da propriedade na estratégia ILP.	66
Figura 11: Alocação do COS proveniente da mudança de uso do solo para pastagem melhorada e para lavoura.	78
Figura 12: Participação das emissões de gado nas estratégias analisadas.	81
Figura 13: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Sistema Extensivo.....	81
Figura 14: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Semiconfinamento.	82
Figura 15: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Confinamento.	83
Figura 16: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia ILP.....	84
Figura 17: Participação das fontes de emissão associadas à produção de soja.	85

Figura 18: Participação das fontes de emissão associadas à produção de milho safrinha.	86
Figura 19: Fluxos de caixa das estratégias agropecuárias em três escalas de produção.	87
Figura 20: Custos de abatimento médios das estratégias intensivas nas três escalas de produção, considerando ou não o carbono orgânico no solo (COS).	95
Figura 21: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia Semiconfinamento.....	97
Figura 22: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia Confinamento.....	98
Figura 23: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia ILP.....	99
Figura 24: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Semiconfinamento.....	100
Figura 25: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Confinamento.....	101
Figura 26: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Semiconfinamento.....	102
Figura 27: Comparação entre as pegadas de GEE de diferentes estratégias, com e sem COS.....	106
Figura 28: Aumento da pegada de GEE da soja vendida quando COS é considerado. Valores em kg CO ₂ e/kg de soja.....	112
Figura 29: Aumento da pegada de GEE do milho vendido quando COS é considerado. Valores em kg CO ₂ e/kg de soja.....	113
Figura 30: Receitas anualizadas de diferentes estratégias e escalas de produção.	117
Figura 31: Custos anualizados de diferentes estratégias e escalas de produção.....	118
Figura 32: Lucros anualizados de diferentes estratégias e escalas de produção.	118
Figura 33: Custo de formação de pastagem em diferentes estratégias e escalas de produção.	120

Figura 34: Custos de abatimento por estratégia e escala de produção em dólares americanos (US\$/t CO ₂ e).....	124
Figura 35: Processos envolvidos na quantificação das emissões dos produtos das estratégias.	196

Lista de Tabelas

Tabela 1: Calendário de adubação do sistema ILP. As letras N, P, K e C nas colunas de adubação e correção do solo simbolizam, respectivamente, as adubações nitrogenada, fosfatada e potássica e o calcário calcítico ou dolomítico.	38
Tabela 2: Parâmetros de ganho médio diário (GMD), peso inicial, peso médio e peso final de acordo com a categoria animal, a fase de produção e a estratégia.	39
Tabela 3: Índices zootécnicos.	42
Tabela 4: Quantidade de adubo utilizado na etapa de implementação da pastagem.	43
Tabela 5: Quantidade de adubo utilizado na etapa de manutenção da pastagem.	43
Tabela 6: Frequência de aplicação de adubos e corretivos no período do ano 1 ao 19. .	44
Tabela 7: Tempo para o abate e lotação de cada estratégia.	44
Tabela 8: Fontes de emissões resultantes das atividades produtivas que ocorrem dentro dos limites da fazenda.	47
Tabela 9: Equações empregadas para a determinação das emissões de fermentação entérica.	48
Tabela 10: Equações empregadas para calcular as emissões de resíduos animais.	49
Tabela 11: Equações empregadas para calcular as emissões de cada GEE emitido com a fertilização das terras.	50
Tabela 12: Equação empregada para calcular as emissões de CO ₂ emitido com a calagem das terras.	50
Tabela 13: Equação empregada para calcular as emissões associadas aos GEE emitidos com a combustão móvel do maquinário.	51
Tabela 14: Parâmetros para cálculo de mudança de estoque de carbono orgânico no solo de pastagens.	53
Tabela 15: Parâmetros para cálculo de mudança de estoque de carbono orgânico no solo de lavouras.	53

Tabela 16: Equações empregadas para calcular as emissões ou remoções de CO ₂ pelo solo.	53
Tabela 17: Fontes de emissão à montante.	54
Tabela 18: Custos fixos e variáveis. * - Aplicável somente às estratégias intensivas. *2 – Aplicável somente à estratégia Confinamento.	58
Tabela 19: Alíquotas e valores do imposto sobre a venda de gado em pé para abate dentro do MT.	61
Tabela 20: Maquinários e implementos utilizados pelas estratégias.	63
Tabela 21: Produtividade em arrobas por hectare (@/ha) das estratégias desenvolvidas e a diferença percentual de produtividade das estratégias intensivas em relação à Sistema Extensivo.	73
Tabela 22: Área requerida para produção de uma unidade funcional nas estratégias desenvolvidas e a diferença percentual de desse valor nas estratégias intensivas em relação à Sistema Extensivo.	74
Tabela 23: Emissões de GEE do gado (kg CO ₂ e), com e sem consideração de COS, ao longo do ciclo de produção, nas estratégias desenvolvidas.	74
Tabela 24: Pegadas de GEE do gado (kg CO ₂ /kg de carcaça), com e sem consideração de COS, nas estratégias desenvolvidas.	75
Tabela 25: Emissões de GEE da soja comercializada, sem e com a contabilização de COS, em cada estratégia e escala de produção.	76
Tabela 26: Emissões de GEE do milho comercializado, sem e com a contabilização de COS, na estratégia ILP nas três escalas de produção.	77
Tabela 27: Pegadas de carbono da soja e do milho comercializados, sem e com a contabilização de COS.	77
Tabela 28: Variação na taxa de acúmulo de COS na estratégia ILP.	79
Tabela 29: Participação das emissões animais de cada fase de produção nas diferentes estratégias.	84
Tabela 30: Receitas anualizadas da produção de gado.	88
Tabela 31: Receita anualizada da produção da soja comercializada.	89

Tabela 32: Receita anualizada da produção do milho comercializado.	89
Tabela 33: Receita anualizada total das estratégias desenvolvidas.	89
Tabela 34: Custos anualizados totais.	90
Tabela 35: Lucros anualizados das estratégias desenvolvidas.	91
Tabela 36: Margem líquida total.....	91
Tabela 37: Custos de formação de pastagem nas diferentes escalas e estratégias.....	92
Tabela 38: VPL das estratégias desenvolvidas nas três escalas de produção (R\$).	93
Tabela 39: TIR das estratégias desenvolvidas nas três escalas de produção.....	93
Tabela 40: Custo de abatimento médio (R\$/t CO ₂ e) das estratégias intensivas de acordo com a escala de produção e a consideração de carbono orgânico no solo (COS).....	94
Tabela 41: Custo de abatimento médio (US\$/t CO ₂ e) das estratégias intensivas de acordo com a escala de produção e a consideração de carbono orgânico no solo (COS).....	94
Tabela 42: Parâmetros para o gado na estratégia Sistema Extensivo.	160
Tabela 43: Parâmetros para o gado nas estratégias intensivas.	164
Tabela 44: Fatores de emissão.....	174
Tabela 45: Fração de nitrogênio.	177
Tabela 46: GWPs dos respectivos GEE.....	177
Tabela 47: Valores de máquinas e implementos próprios.....	197
Tabela 48: Valores de aluguel e máquinas e implementos.	197
Tabela 49: Valores dos animais comprados para reposição nas estratégias intensivas.	197
Tabela 50: Valores dos insumos para produção de pastagem, soja e milho.	197
Tabela 51: Dados do cercamento.....	198
Tabela 52: Valores de produtos vendidos.	198
Tabela 53: Valores de salários, encargos sociais e trabalhistas, quantidade de funcionários, relação UA/funcionário para a pecuária.....	198
Tabela 54: Variação da pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.	200

Tabela 55: Variação da pegada de GEE da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.	201
Tabela 56: Variação da pegada de GEE da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.....	202
Tabela 57: Variação da pegada de GEE da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.....	203
Tabela 58: Variação do custo de abatimento da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.	205
Tabela 59: Variação do custo de abatimento da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.	206
Tabela 60: Variação do custo de abatimento da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.....	207
Tabela 61: Variação dos indicadores financeiros da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.	208
Tabela 62: Variação dos indicadores financeiros da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.....	210
Tabela 63: Variação dos indicadores financeiros da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.	211
Tabela 64: Variação dos custos de abatimento da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.	213
Tabela 65: Variação dos custos de abatimento da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.....	214
Tabela 66: Variação dos custos de abatimento da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.	215

Lista de Abreviações

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AFOLU – Agricultura, Florestas e Outros Usos de Solo

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COS – Carbono Orgânico no Solo

GEE – Gases de Efeito Estufa

GMD – Ganho Médio Diário

ILP – Integração Lavoura-Pecuária

ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

IMEA – Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MUT – Mudança do Uso da Terra

Plano ABC+ – Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

1. Introdução

Aproximadamente 27% do PIB brasileiro, foi proveniente do setor agropecuário em 2021 (CEPEA; CNA, 2021). A importância desse setor para o país se reflete na posição do Brasil como o maior exportador mundial de carne bovina e de soja em grãos e o terceiro maior de milho em grãos (IPEA, 2022a). Entre as regiões brasileiras, o Centro-Oeste se destaca na produção dessas três commodities (IBGE, 2020, 2021).

Como consequência do papel fundamental da agropecuária na economia do país, o setor foi responsável por aproximadamente 477 à 577 milhões de toneladas (Mt) de gases de efeito estufa (GEE) em 2020, dependendo da estimativa, o que representou 28,5% e 27% do total de emissões GEE no país, respectivamente (BRASIL, 2022; SEEG, 2021). Vale ressaltar que as emissões de metano por fermentação entérica representaram mais da metade das emissões da agropecuária, tanto em Brasil (2022) como em SEEG (2021). Somente as emissões do gado bovino de corte representaram entre 51% (BRASIL, 2022) e 65% (SEEG, 2021) das emissões da agropecuária. Acresce que este setor e a sua cadeia de abastecimento são um dos principais responsáveis pela expansão da agricultura para ecossistemas naturais resultando em desmatamento e degradação ambiental (RAJÃO *et al.*, 2020; ROCHEDO *et al.*, 2018; SOTERRONI, 2019).

As emissões desses setores não são apenas relevantes no cenário brasileiro, mas também mundial. Em 2019, aproximadamente 22% das emissões líquidas de origem antropogênica foram do setor de agricultura, florestas e outros usos de solo (AFOLU), sendo 23% e 11% delas emissões provenientes da fermentação entérica e do manejo de solos e pastagens (IPCC, 2022). Dessa maneira, faz-se indispensável desenvolver medidas de mitigação de emissões direcionadas para o setor, especialmente para a pecuária.

Diante disso, algumas medidas que têm sido apontadas como eficientes na redução das emissões da pecuária, entre as quais: a melhora da qualidade e do manejo da pastagem, a suplementação com concentrados, o semiconfinamento, o confinamento e as diversas modalidades de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012; CONGIO *et al.*, 2021; DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015; MAPA, 2021; RATHMANN *et al.*, 2017; SAKAMOTO *et al.*, 2020; SOARES FILHO *et al.*, 2017).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia amplamente utilizada para a quantificação das emissões de um produto e de sua pegada de GEE. Ela considera todas as emissões de GEE associadas a um produto ou atividade, desde a extração dos recursos necessários para fabricá-lo, até seu posterior descarte (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GUINÉE; HEIJUNGS, 2005; SAIC, 2006). Por conta disso, ela é utilizada em uma série de trabalhos que investigam estratégias de redução de emissões da agropecuária.

Entretanto, a adoção de medidas de mitigação não é necessariamente acompanhada de uma manutenção ou de um incremento dos resultados financeiros da atividade em questão. Assim, é importante considerar se as estratégias de intensificação da produção agropecuária em questão trazem ganhos financeiros para o produtor ou se elas necessitariam de algum incentivo.

Deste modo, uma ferramenta econômico-ambiental para quantificar o potencial de mitigação e custo associado a estratégias de redução de emissões GEE no setor de pecuária é um instrumento fundamental para avaliar os custos associados à adoção dessa medida frente uma linha de base (BRANCO; RATHMANN, 2017; DA MOTTA; COUTO; CASTRO, 2012; HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998). A determinação do custo de abatimento é um passo fundamental para se definir quais estratégias são mais ou menos custosas perante as emissões por elas reduzidas. Além disso, essa quantificação de custo permite que os setores público e privado possam planejar estrategicamente políticas de curto, médio e longo prazo para reduzir suas emissões (BRANCO; RATHMANN, 2017; DA MOTTA; COUTO; CASTRO, 2012; HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998).

1.1 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo principal mensurar a pegada de GEE, os resultados financeiros e os custos de abatimento associados a produção do gado bovino de corte no Centro-Oeste brasileiro segundo diferentes estratégias de intensificação da produção agropecuária a partir de uma linha de base que considera a sua produção extensiva.

Os objetivos específicos são:

- O desenvolvimento de uma linha de base que caracterize a pecuária extensiva do Centro-Oeste
- Investigar quais as estratégias de intensificação da produção pecuária, incluindo confinamento, semiconfinamento e integração lavoura-pecuária (ILP), podem levar a uma menor quantidade de emissões por produto comercializado e qual o custo associado
- Determinar as barreiras e os benefícios, ambientais e econômicos, associados à adoção de cada estratégia.

1.2 Justificativa e contribuição do trabalho

O setor agropecuário, principalmente a bovinocultura de corte, contribui de forma expressiva com as emissões de GEE no Brasil e no mundo. Apesar disso, ainda são poucos os estudos que quantifiquem as emissões reduzidas, os resultados financeiros e os custos de abatimento de diferentes estratégias de mitigação de GEE que envolvam a pecuária bovina de corte. Dessa maneira, o presente trabalho visa preencher essa lacuna na literatura. A quantificação de emissões de GEE neste trabalho abrangeu de 9 a 11 fontes de emissão, dependendo da estratégia analisada. A fermentação entérica, principal fonte de emissão do gado bovino, teve suas emissões calculadas através da abordagem *Tier II*, o que possibilitou uma estimativa mais acurada das emissões dessa fonte.

São poucos os trabalhos que utilizam a lógica de avaliação de ciclo de vida (ACV) para quantificar as emissões de GEE bovinocultura de corte no Brasil perante a importância desse setor para o montante de emissões do país. Ainda mais escassos são os estudos que unem a quantificação de emissões com uma análise financeira a fim de determinar o custo de abatimento de diferentes estratégias de mitigação de GEE relativas a este setor. Assim, esta dissertação possui um caráter de ineditismo e se soma a trabalhos anteriores, contribuindo para um detalhamento das oportunidades de redução de emissões de GEE neste setor.

1.3 Abordagem metodológica

A metodologia deste trabalho pode ser dividida em quatro principais etapas: a definição das estratégias de mitigação de GEE na agropecuária, a análise das emissões de GEE, a análise financeira e o cálculo dos custos de abatimento.

Na primeira etapa, houve a definição de uma estratégia de linha de base, a Sistema Extensivo, e três intensivas: Semiconfinamento, Confinamento e ILP. As estratégias foram delineadas segundo: indicadores zootécnicos; quantidade de fertilizantes e corretivos; frequência da aplicação de fertilizantes e corretivos; níveis de suplementação mineral e de concentrados e formas de manejo da pastagem e do gado.

Na etapa de análise das emissões de GEE, utilizou-se a lógica da metodologia de ACV para realizar quantificação das emissões e das pegadas de GEE de cada estratégia. O inventário de emissões de GEE foi feito segundo IPCC (2006) e IPCC (2019). As pegadas de GEE foram calculadas de duas maneiras: considerando ou não o carbono orgânico estocado pelo solo.

Na terceira etapa, de análise financeira, os custos foram divididos em fixos e variáveis segundo CONAB (2010) e COSTA (2007). Os custos e as receitas foram determinados através da pesquisa em bases de dados variadas. Os seguintes indicadores financeiros foram definidos para serem analisados: receitas, custos e lucros anualizados, margem líquida, custo de formação da pastagem, VPL e TIR.

Por último, o custo de abatimento médio de cada estratégia intensiva foi calculado subtraindo-se o VPL da estratégia de linha de base do VPL da estratégia de mitigação e dividindo o resultado desta operação pela quantidade de emissões de GEE reduzidas. O custo de abatimento foi determinado de duas maneiras: considerando ou não o carbono orgânico estocado pelo solo.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho é estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo, Introdução, apresenta os principais tópicos a serem tratados nesta dissertação. Além disso, ele introduz a problemática que justifica a importância desta pesquisa, faz um resumo da abordagem metodológica desenvolvida e indica como a dissertação está estruturada.

2. Após a introdução, o capítulo

Contextualização, destaca a importância da agropecuária, especialmente da bovinocultura de corte, no que tange as mudanças climáticas a nível global e brasileiro, assim como o papel extremamente relevante da agropecuária na economia do Brasil,

O capítulo **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o referencial teórico dos principais tópicos tratados neste trabalho: algumas das principais estratégias que podem ser adotadas para mitigar as emissões do gado bovino; a avaliação de ciclo de vida (ACV) como metodologia que auxilia a quantificação das emissões da agropecuária, servindo, inclusive, para comparar as reduções de emissões de GEE obtidas por diferentes estratégias de mitigação; a quantificação do custo de abatimento e como esse cálculo pode auxiliar à precificar a redução de emissões advindas da adoção de uma estratégia mitigadora.

No quarto capítulo, Metodologia, são indicadas: (i) as características da linha de base e de cada estratégia de mitigação de GEE desenvolvida; (ii) as fontes de emissão consideradas e como elas são quantificadas; (iii) as receitas e os custos contabilizados, bem como as referências utilizadas para o estabelecimento dos custos de insumos, maquinários etc.; (iv) como é calculado o custo de abatimento das emissões reduzidas.

O capítulo cinco,

O fator de conversão (FC) empregado na equação acima é equivalente à produção em arrobas por hectare (@/ha) da estratégia de mitigação em questão. Ele foi utilizado para corrigir o aumento de emissões nas estratégias de mitigação em comparação com a linha de base. A maior lotação das estratégias intensivas faz com que suas emissões totais aumentem, embora a pegada de GEE do gado diminua.

1.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para avaliar como a variação de parâmetros ambientais e financeiros poderia modificar a pegada de GEE, os indicadores financeiros e o custo de abatimento.

Foram incluídos na análise de sensibilidade os seguintes parâmetros envolvidos na quantificação de emissões de GEE: (i) fator de emissão de fermentação entérica (EF_{CH_4}), relacionado às emissões de fermentação entérica; (ii) quantidade de nitrogênio excretada pelo gado no ano (N_{ex}), relativa às emissões de resíduos animais; (iii) quantidade de fertilizante sintético aplicado na pastagem (F_{SN}), relativa às emissões de ureia e (iv)

estoque de carbono orgânico no solo na condição de referência (SOC_{REF}), relacionado às emissões de carbono orgânico no solo. No caso da estratégia ILP, também foi avaliado o (v) fator de entrada (F_I), também relacionado às emissões de carbono orgânico no solo. Esta seleção se deve à maior contribuição destes parâmetros na emissões de GEE dos diferentes sistemas avaliados.

Quanto aos parâmetros financeiros, foram incluídos os parâmetros com maior contribuição nos custos, designadamente: (i) preço da arroba do boi gordo, a principal fonte de receita comum à todas as estratégias; (ii) custo de aquisição de fertilizantes e corretivos, uma fonte de custos relevante para a produção agrícola e pecuária, e a (iii) taxa de desconto.

A análise de sensibilidade avaliou a variação dos valores dos parâmetros ambientais e financeiros escolhidos em $\pm 15\%$. No caso da taxa de desconto, foram avaliadas as taxas de 10% e 15%.

, indica os resultados obtidos tanto na análise ambiental como econômica. Nesse capítulo são apresentadas para cada estratégia e escala de produção: emissões absolutas, pegadas de GEE, fluxos de caixa e principais indicadores financeiros e custos de abatimento, tanto das emissões totais, em t CO₂e, como apenas das emissões de metano.

Em seguida, no sexto capítulo, Discussão dos resultados, há uma retomada dos resultados apresentados no capítulo anterior para maior detalhamento, comparação com outros estudos e para o desenvolvimento de novas perspectivas a partir deles.

No sétimo e último capítulo, Considerações finais, são apontadas as principais contribuições deste trabalho, suas limitações e as oportunidades de investigação futura abertas por ele.

3. Contextualização

Nas seções abaixo, é feita uma contextualização mais detalhada sobre: o papel do setor agropecuário nas mudanças climáticas; a produção agropecuária no Brasil e seu papel na economia do país e da região Centro-Oeste; a participação das emissões relativas à agropecuária no montante nacional, especialmente aquelas causadas pela produção de carne bovina, soja e milho.

2.1 As mudanças climáticas e o setor agropecuário

De acordo com IPCC (2022), a participação dos principais gases de efeito estufa nas emissões líquidas antropogênicas de 1990 à 2019 são de: CO₂ (75%), CH₄ (18%) e N₂O (4%) e gases fluorados (2%).

A nível global, em 2019, aproximadamente 34% das emissões líquidas de origem antropogênica foram do setor de energia, 24% do setor industrial, 22% do setor de agricultura, florestas e outros usos de solo (AFOLU), 15% do setor de transportes e 6% de edificações (IPCC, 2022). Vale ressaltar que essa distribuição de emissões considera a alocação das emissões de produção de eletricidade e calor para o setor de energia, não para o setor de edificações, onde essa energia é consumida (IPCC, 2022).

No setor AFOLU, aproximadamente 51% das emissões de 1990 à 2019 são de CO₂ associadas à mudança de uso do solo. Em seguida, as emissões de metano da fermentação entérica respondem por 23% do total nesse mesmo período. A participação de outras fontes de emissão no montante do setor no mesmo período foi de: 11%, para manejo de solos e pastagens; 8% para o cultivo de arroz; 3% para manejo de resíduos animais; 3% para aplicação de fertilizantes sintéticos e 1% para queima de biomassa (IPCC, 2022). A nível regional, a América Latina contribuiu com aproximadamente 10% das emissões de GEE mundiais, sendo o setor de AFOLU o mais intensivo na região (IPCC, 2022).

Segundo IPCC (2022), medidas de restauração e conservação de florestas e outros ecossistemas naturais representam a maior parcela (45%) do potencial de mitigação do setor AFOLU para medidas que custem até 100 USD/t CO₂e. Elas possuem o potencial de reduzir e/ou sequestrar aproximadamente 7,3 Gt CO₂e/ano entre 2020 e 2050 (IPCC, 2022).

Em segundo lugar, vem o setor agropecuário, que envolve medidas de melhora no manejo de lavouras e pastagens, no estoque de carbono no solo, no cultivo de arroz, o uso de biochar, agroflorestas e o incremento da nutrição do gado. Medidas de mitigação na agropecuária com custo inferior à 100 USD/ t CO₂e apresentam o potencial de reduzirem e/ou sequestrarem aproximadamente 4,1 Gt CO₂e/ano entre 2020 e 2050 (IPCC, 2022).

Dentre os três GEE quantificados neste trabalho, o metano possui o papel principal nas emissões da bovinocultura de corte, principalmente na fermentação entérica, como único GEE emitido e, em menor grau, no manejo de resíduos animais (UNEP; CCAC, 2021). Apesar de esse gás ter um tempo curto de vida na atmosfera, em torno de 10 anos, seu potencial de aquecimento global (GWP, do inglês “Global Warming Potential”) é aproximadamente 28 vezes maior que o do CO₂ (IPCC, 2021; UNEP; CCAC, 2021). O curto tempo de vida do metano na atmosfera faz com que quaisquer iniciativas de redução das emissões deste gás, caso implementadas, produzam rapidamente o resultado desejado de diminuição da concentração de metano na atmosfera. Por sua vez, isso traria como consequência um decréscimo da taxa de aquecimento global no curto prazo e uma economia de tempo para o desenvolvimento de ações de redução de emissões de outros GEE, como CO₂ ou N₂O, cujos tempos de vida na atmosfera superam 100 anos (IPCC, 2021; UNEP; CCAC, 2021).

De acordo com UNEP e CCAC (2021), aproximadamente 40% das emissões globais de metano são provenientes da agropecuária, sendo as emissões de fermentação entérica e de manejo de resíduos animais responsáveis em conjunto por 32% das emissões totais desse gás. Espera-se que essas duas fontes de emissão somadas respondam por um acréscimo de aproximadamente 6 Mt CH₄/ano até 2030 devido ao aumento da demanda por carne ocasionado tanto pelo crescimento da população mundial como pelo consumo desse produto por habitante do planeta (UNEP; CCAC, 2021).

O gado bovino foi o grupo animal que mais emitiu metano de fermentação entérica e o segundo maior emissor de deste gás proveniente de manejo de resíduos animais. Considerando ambas as fontes de emissão, o gado bovino foi o grupo animal que mais contribuiu com as emissões de metano na agropecuária (UNEP; CCAC, 2021). Em animais ruminantes, o metano é emitido principalmente durante a fermentação entérica, processo anaeróbico que ocorre no rúmen animal. Bactérias metanogênicas decompõem o alimento ingerido e produzem metano como um subproduto, que é então expelido pelo animal (IPCC, 2019; PATRA, 2012). Já as emissões de metano decorrentes da

decomposição de resíduos animais são menos representativas do que aquelas provenientes da fermentação entérica (UNEP; CCAC, 2021).

As emissões globais de metano apresentaram um período de acelerado crescimento entre 1984 e 2000, seguido por um período de estabilidade entre 2000 e 2005. Após esse ano, as emissões voltaram a crescer, sendo 2020 o ano de maior incremento dessas emissões desde quando elas passaram a ser acompanhadas, em 1984 (UNEP; CCAC, 2021). O potencial de mitigação de emissões de metano da pecuária varia consideravelmente de 4 Mt a 42 Mt CH₄/ano, dependendo da região do mundo. Na América Latina este setor tem um maior potencial de mitigação de emissões de metano do que os setores de óleo e gás e resíduos (UNEP; CCAC, 2021).

Diante disso, em novembro de 2021 foi lançado durante a COP 26 em Glasgow o Global Methane Pledge, pacto em que os países signatários se comprometeram com o desenvolvimento de ações que promovam a redução de pelo menos 30% das emissões globais de metano até 2030, em relação aos níveis de 2020 (CCAC, 2021). O Brasil é um dos mais de 100 signatários do compromisso. Dessa maneira, o investimento em iniciativas que promovam um manejo melhorado dos sistemas agropecuários apresenta um retorno considerável em termos de redução e sequestro de emissões de GEE (IPCC, 2022). Além disso, a contribuição maciça das emissões de AFOLU na América Latina faz com que o desenvolvimento de iniciativas de redução e sequestro de emissões desse setor nos países dessa região seja ainda mais prioritário (IPCC, 2022).

O Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina no mundo e o principal exportador (IPEA, 2022a). Além disso, o país também possui papel relevante na produção e na exportação de commodities agrícolas, especialmente a soja e o milho, que são também muito utilizadas para alimentação animal (IPEA, 2022a). Devido ao papel de destaque da agropecuária nesse país, as emissões do setor são igualmente notáveis. Dependendo da estimativa, a agropecuária brasileira responde por 27% (SEEG, 2021) à 28,5% (BRASIL, 2022) das emissões do país.

Diante da relevância das emissões de AFOLU nos cenários mundial e regional e do papel fundamental da agropecuária na economia brasileira, o presente trabalho pretende avaliar o potencial de mitigação de diferentes estratégias de intensificação da bovinocultura de corte simuladas na região Centro-Oeste do país.

Nas seções abaixo, é feita uma contextualização mais detalhada sobre: a produção agropecuária no Brasil e seu papel na economia do país e da região em questão; a participação das emissões relativas à agropecuária no montante nacional, especialmente aquelas causadas pela produção de carne bovina, soja e milho; estudos anteriores de avaliação de ciclo de vida para quantificação de emissões desses produtos; análises prévias de avaliação econômica da produção de carne, soja e milho no Brasil.

2.2 Produção de carne bovina, soja e milho

O papel de destaque da agropecuária na economia brasileira é histórico. De acordo com CNA e CEPEA (2022) a produção pecuária no Brasil foi responsável por aproximadamente 27% do PIB brasileiro em 2021. Como o presente trabalho desenvolveu estratégias de intensificação agropecuária que envolvem a produção de carne bovina e, em menor grau, soja e milho em grãos, nesta seção, é detalhado o perfil da produção dessas commodities no Brasil, especialmente no Centro-Oeste.

Quanto à produção agrícola do país, a soja e o milho se destacam. O Brasil foi o principal produtor e exportador de soja no mundo na safra de 2020-2021 e terceiro maior produtor de milho para a mesma safra (IPEA, 2022a).

No presente trabalho, a soja e o milho cultivado em 2ª safra, o chamado milho safrinha, têm especial destaque. Esses grãos são frequentemente empregados na composição de suplementos nutritivos para os animais, seja como concentrados (grãos moídos, farelos etc.) ou como volumosos, no caso do milho, na forma de silagem. Além disso, ambos os grãos têm participação dominante entre os cereais, as leguminosas e as oleaginosas produzidas pelo país.

De acordo com IBGE (2021), a quantidade de milho de 1ª safra produzido em 2021 foi de 310 Mt toneladas de grãos. Já a produção de milho de 2ª safra, o milho safrinha, superou a primeira, contabilizando 824 Mt de grãos em 2021. A soja aparece como cultivo dominante, registrando aproximadamente 1.5 Gt de grãos produzidos nesse mesmo ano. O milho de 1ª safra, o milho safrinha e a soja responderam, respectivamente, por aproximadamente 10%, 27% e 52% da produção total de cereais, leguminosas e oleaginosas no Brasil em 2021 (IBGE, 2021).

Nos três estados do Centro-Oeste, a produção de milho de 1ª safra foi pouco significativa, correspondendo à 0,4% no Mato Grosso, 1% no Mato Grosso do Sul e 6%

em Goiás da produção total de cereais, leguminosas e oleaginosas nesses estados em 2021 (IBGE, 2021). Já a produção de milho safrinha foi muito mais relevante: nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, a participação desse grão na produção total de cereais, leguminosas e oleaginosas nesses estados foi de 46%, 41% e 35%, respectivamente (IBGE, 2021).

Isso indica que os produtores desses estados dão preferência a produzir o milho em segunda safra, de forma a aproveitar a área utilizada pela soja (CECCON, 2018; CONAB, 2022; CRUZ *et al.*, 2011), que foi o cultivo dominante nesses estados. A soja correspondeu à 49%, 57% e 52% de todos os cereais, leguminosas e oleaginosas produzidos nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, respectivamente, durante o ano de 2021 (IBGE, 2021).

Quanto à produção pecuária, o país foi o segundo maior produtor mundial, ficando atrás somente dos Estados Unidos (IPEA, 2022a). O Brasil foi ainda o terceiro maior consumidor global de carne bovina e o principal exportador (IPEA, 2022a).

Segundo IBGE (2021), foram registradas em 2020 cerca de 218 milhões de cabeças de gado bovino no Brasil, um aumento de quase duas vezes e meia em relação à 1974 (IBGE, 2021). O número de cabeças de gado de corte corresponde à aproximadamente 90% desse total (BRASIL, 2010). Os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás concentraram, respectivamente, 15%, 9% e 11% dessas cabeças, fazendo com que a região Centro-Oeste acumulasse o maior número de cabeças bovinas no país, 35% dessa população em 2020 (IBGE, 2021).

Sendo assim, é possível perceber que a produção de carne bovina, soja e milho desempenham um papel fundamental na economia, especialmente nos estados do Centro-Oeste. Portanto, iniciativas que visem reduzir as emissões de GEE desses produtos serão especialmente atrativas aos produtores se também aumentarem o lucro da produção, ou ao menos não impactarem negativamente neste.

2.3 Emissões de GEE da agropecuária brasileira

De acordo com a versão mais recente do relatório oficial do governo brasileiro Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa, referente ao ano de 2020, o setor agropecuário contabilizou 477,6 Mt CO₂e, ou 28,5% das emissões totais do Brasil naquele ano. Esse setor é então dividido em sete subsetores: fermentação entérica, solos

manejados, manejo de dejetos animais, calagem, cultivo de arroz, aplicação de ureia e queima de resíduos agrícolas (BRASIL, 2022).

Considerando apenas os subsetores relativos à pecuária, ou seja, a fermentação entérica e o manejo de dejetos animais, foram emitidos aproximadamente 295,2 Mt CO₂e, o que equivale a 61,8% das emissões do setor agropecuário e 17,6% das emissões totais do país nesse mesmo ano (BRASIL, 2022). A fermentação entérica contribuiu com 57% das emissões de agropecuária e o manejo de resíduos animais com apenas 4,8%. Ademais, os bovinos de corte responderam por mais de 85% das emissões por fermentação entérica nesse ano (BRASIL, 2022).

Os demais subsetores (cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas e solos agrícolas) agregam emissões tanto da agricultura como da pecuária. Eles somaram aproximadamente 182,4 Mt CO₂e, o que correspondeu à 38,2% das emissões do setor agropecuária. Dentre esses subsetores, o dominante foi solos manejados, que contabiliza as emissões de N₂O provenientes da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos ou da incorporação de excretas animais e resíduos agrícolas. Esse subsetor respondeu sozinho por 31% das emissões de agropecuária (BRASIL, 2022).

Outra fonte de informação relevante para a contabilização e investigação de emissões de GEE no âmbito nacional é o relatório “Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa”, publicado anualmente pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Liderado pelo Observatório do Clima em conjunto com diversas organizações do terceiro setor, o SEEG publica anualmente um relatório de emissões de GEE nacional, não-oficial, para uma série histórica (SEEG, 2021).

De acordo com o relatório mais recente, SEEG 9 (SEEG, 2021), referente ao período de 1970 até 2020, o setor agropecuário respondeu por 27% das emissões de GEE do Brasil em 2020. Similarmente ao relatório oficial brasileiro, a fermentação entérica também contribuiu significativamente com as emissões da agropecuária, totalizando 65% das emissões desse setor (SEEG, 2021).

Em sequência, o subsetor “solos manejados” foi o segundo maior contribuinte das emissões do setor agropecuário, respondendo por aproximadamente 28% das emissões do mesmo (SEEG, 2021). Dentro desse subsetor, a deposição de resíduos animais na

pastagem e o uso de fertilizantes sintéticos foram responsáveis por, respectivamente, 29% e 18% das emissões do subsetor.

Ainda segundo o SEEG (2021), em 2020, 75% das emissões do setor agropecuário foram da bovinocultura, sendo da de corte 65,6% e da leiteira 9,3%, aproximadamente. Dessa maneira, é possível inferir que o gado de corte foi responsável por 17,7% das emissões totais do Brasil em 2020.

A nível estadual, o estado do Mato Grosso foi responsável por 14,8% das emissões brasileiras da agropecuária em 2020. Os estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul aparecem em seguida no ranking de emissões da agropecuária, nessa ordem. Esses estados registraram um considerável incremento no tamanho de seus rebanhos bovinos e no uso de fertilizantes sintéticos (SEEG, 2021).

Dessa maneira, é evidente a importância substancial das emissões da agropecuária para o montante brasileiro, especialmente as provenientes da bovinocultura de corte, conforme destacado por Brasil (2022) e SEEG (2021). Além disso, a contribuição expressiva dos estados do Centro-Oeste no montante de emissões da agropecuária igualmente reflete a necessidade de se investigar opções de redução de emissões que sejam compatíveis com as atividades econômicas desses estados.

4. Revisão bibliográfica

Nesta seção é feita uma revisão bibliográfica de estudos anteriores de: avaliação de ciclo de vida para a quantificação de emissões de GEE de carne bovina, soja e milho; avaliação financeira da produção de carne bovina, soja e milho; custos de abate associados à adoção de diferentes estratégias de redução de emissões de GEE na produção da carne bovina, sozinha ou combinada com outros produtos.

3.1 Medidas de redução de GEE

Entre essas medidas de mitigação, são detalhadas nesta seção a melhora no manejo de pastagem, a suplementação de concentrados, a engorda em confinamento e os sistemas integrados, especialmente a integração lavoura-pecuária (ILP).

Embora a adoção do sistema plantio-direto (SPD) e o uso de inoculantes para a fixação biológica de nitrogênio sejam medidas de mitigação relacionadas ao milho e soja, elas não são detalhadas a seguir, pois ambas assumidas como linha de base para a soja e

o milho cultivados, tanto para ração como para venda (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; FERNADES; TEJO; ARRUDA, 2019; FUENTES-LLANILLO *et al.*, 2021).

Segundo Cottle, Nolan e Wiedemann (2011), a qualidade da pastagem, o nível de consumo e a digestibilidade da mesma são os fatores que influenciam na produção de metano da fermentação entérica. Além disso, sabe-se que a digestibilidade está relacionada à espécie de gramínea utilizada e ao grau de adubação da pastagem (IPCC 2019; QUEIROZ; GOMIDE; MARIA, 2000). Assim, em uma pastagem bem manejada e adubada, com o pastejo mais intensivo, ainda que o consumo de forragem aumente por animal, é possível que haja uma redução das emissões de metano da fermentação entérica com o aumento da digestibilidade da forragem e com o uso de técnicas de manejo adequadas, como o controle da lotação, da altura do pasto e do pastejo rotacionado (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012; CONGIO *et al.*, 2021; SAKAMOTO *et al.*, 2020).

Outro benefício importante do manejo adequado da pastagem é o incremento dos estoques de carbono orgânico no solo (COS). Cerri *et al.* (2007) encontraram um potencial positivo de armazenamento de carbono no solo de pastagens bem manejadas na Amazônia frente às degradadas. Já no Cerrado, segundo Braz *et al.* (2013), pastagens produtivas (que são bem manejadas e fertilizadas com frequência) também registraram valores superiores de carbono orgânico no solo quando comparadas às pastagens degradadas e, em alguns casos, até mesmo à vegetação nativa.

Em Maia *et al.* (2009), pastagens degradadas registraram perdas de 0,27-0,28 tC/ha/ano. As pastagens nominais foram tanto fontes emissoras como de armazenagem de carbono: dependendo do tipo de solo, essas pastagens perderam em média 0,03 tC/ha/ano ou absorveram 0,72 tC/ha/ano, valor superior ao de pastagens melhoradas em latossolos, com fertilização e correção do solo periódicas, que sequestraram em média 0,61 tC/ha/ano. Ainda assim, os autores enfatizam que há grande incerteza nos resultados obtidos (MAIA *et al.*, 2009). Em Carvalho *et al.* (2010), dependendo do bioma, do tipo de solo e da prática de manejo adotada, a conversão de vegetação nativa para pasto poderia provocar tanto o acúmulo como a perda de COS. Outros estudos também indicaram que a fertilização das pastagens está positivamente relacionada ao maior acúmulo de COS no solo (DAMIAN, 2021; DE FREITAS *et al.*, 2020; MARTINS, 2017; ROSA; SANO; ROSENDO, 2014).

Apesar disso, existe uma considerável incerteza relacionada às estimativas de carbono orgânico no solo. Diferentes abordagens de amostragem de solos e de análises químicas podem tornar complexa a comparação de resultados de estoque de COS até mesmo a nível regional (GOIDTS; WESEMAEL; CRUCIFIX, 2009; JANDL *et al.*, 2014; VANGUELOVA *et al.*, 2016). A variação espacial do COS pode depender da topografia do terreno, do uso de solo atual e prévio, da drenagem, da erosão, do tipo de vegetação, entre outros fatores (VANGUELOVA *et al.*, 2016).

Quanto maior o número de amostras de solo maior a confiança na caracterização do solo de determinada região e na previsão de mudanças de COS futuras. Entretanto, os resultados da modelagem de carbono no solo são dependentes do modelo utilizado, o que também contribui para a incerteza da medição e da previsão de mudança do carbono no solo (SOMARATHNA; MINASNY; MALONE, 2018). A baixa quantidade de programas de pesquisa de longo prazo em solos também dificulta a obtenção de dados sobre a mudança de carbono no solo ao longo dos anos, o que poderia auxiliar a calibração de modelos para simular mudanças futuras (JANDL *et al.*, 2014).

A suplementação com concentrados pode ocorrer em qualquer fase de produção, entretanto, ela é mais comum nas fases de cria e engorda. Os alimentos podem ser divididos em volumosos e concentrados: os primeiros são aqueles alimentos que possuem teor de fibra bruta na matéria seca acima de 18%, como capins verdes e silagem; já os alimentos concentrados apresentam teor de fibra bruta na matéria seca inferior à 18% (DE GOES; DA SILVA; DE SOUZA, 2013). Os alimentos concentrados podem ser ainda divididos em dois tipos: os proteicos, como o farelo de soja e o caroço de algodão, e os energéticos, como o milho em grãos e o farelo de arroz, sendo que o primeiro e o segundo tipos possuem, respectivamente, mais e menos de 20% de proteína na matéria seca (DE GOES; DA SILVA; DE SOUZA, 2013).

O semiconfinamento é uma forma de intensificar a terminação do gado a pasto, sendo um intermediário entre o confinamento e a alimentação baseada majoritariamente em gramíneas, com ou sem suplementação eventual (GOMES *et al.*, 2015; ROSA; NOGUEIRA; TORRES JR., 2004). No semiconfinamento, a suplementação recebida pelo animal no cocho é somente de concentrados: a fração de volumosos é o próprio pasto. Já no confinamento, o animal recebe no cocho tanto a fração de concentrados como a de volumosos, geralmente na forma de silagem. Além disso, no semiconfinamento o animal ingere aproximadamente 1,2% do seu peso vivo, enquanto no confinamento esse valor é

de aproximadamente 2,5%, o que resulta em ganhos médios diários (GMD) maiores neste caso. Por último, o semiconfinamento exige menos infraestrutura e mão de obra do que o confinamento (BENTO *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2015; ROSA; NOGUEIRA; TORRES JR., 2004).

A maior participação desse tipo de alimento na nutrição do gado promove uma redução das emissões de metano provenientes da fermentação entérica por dois motivos: primeiro porque a digestibilidade dessa fonte de alimentos é superior à do capim; segundo porque o ganho de peso acelerado faz com que o gado chegue na idade de abate antes do que nos sistemas sem suplementação (BERCHIELLI; MESSANA; CANESIN, 2012; FONTES *et al.*, 2012; IPCC, 2019). De Oliveira Silva, Barioni e Moran (2015) estimaram o potencial de mitigação da suplementação do gado com concentrados na região do Cerrado. Os autores encontraram que a adoção dessa medida poderia reduzir aproximadamente 0,39 Mt CO₂e/ano na região (DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015).

O Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC) foi aprovado em 2011 como forma de direcionar as ações que deveriam ser tomadas para o setor agropecuário entre 2010 e 2020 como resposta à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (MAPA, 2021). Em 2021, o Plano ABC entrou em uma nova fase, sendo renomeado como: Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030) - ABC+ (MAPA, 2021).

No Plano ABC+, o confinamento é agrupado com o semiconfinamento e a suplementação à pasto na modalidade terminação intensiva. Esse documento estipula a ampliação em 5 Mha distribuídos entre essas três medidas de mitigação até 2030, o que apresenta um potencial de mitigação de 16,24 Mt CO₂e, o que corresponde à aproximadamente 11,4 kg CO₂e/kg carcaça (MAPA, 2021). A adoção do confinamento de bovinos de corte, seja em todas as fases de produção do ciclo completo, ou apenas na engorda, quando é mais comum, é frequentemente apontada como uma medida de mitigação das emissões (DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015; MAPA, 2021; RATHMANN *et al.*, 2017; SOARES FILHO *et al.*, 2017).

Segundo Rathmann *et al.* (2017), o confinamento de bovinos de corte poderia evitar a emissão de aproximadamente 47,6 Mt CO₂e até 2030. Já Soares Filho *et al.* (2017)

destacam ainda que a recuperação de pastagens degradadas, a adubação e o manejo de pastagens e a adoção do confinamento do gado bovino, em conjunto, poderiam mitigar aproximadamente 2,37 Gt CO₂e de 2012 à 2050. De acordo com os autores, essas três atividades, agrupadas como uma medida de intensificação da pecuária, concentram o maior potencial de mitigação de GEE no setor de AFOLU para esse período (SOARES FILHO *et al.*, 2017). De Oliveira Silva, Barioni e Moran (2015) também estimaram o potencial de mitigação da terminação bovina em confinamento para a região do Cerrado. Os autores encontraram que a adoção dessa medida poderia reduzir aproximadamente 0,47 Mt CO₂e/ano na região (DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015).

O Plano ABC+ considera como integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), aqueles sistemas que integram a produção agrícola, pecuária ou florestal numa mesma área em consórcio, sucessão ou rotação. Os sistemas ILPF podem ainda ser de 4 tipos: integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF) (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011; MAPA, 2021). Segundo o Plano ABC+, os sistemas ILPF e os sistemas agroflorestais (SAF) são reconhecidos como sistemas integrados. Esse plano propõe a expansão do uso de sistemas integrados de produção de forma que, até 2030, as modalidades de sistemas ILPF ocupem 10 milhões de hectares, sendo 1 milhão com árvores nativas. Se implementada, tal atividade resultaria em aproximadamente 37,9 milhões tCO₂e (MAPA, 2021).

Segundo Manzatto *et al.* (2020), de 2010 à 2016, o tamanho da área nacional ocupada por modalidades de sistemas ILPF foi de 6,78 para 12,61 milhões de hectares, superando a meta estipulada para esse ano em 146%. Estima-se que nesse mesmo período a expansão da área ocupada por ILPF tenha mitigado aproximadamente 29,3 Mt CO₂e (MANZATTO *et al.*, 2020). Alguns estudos indicam ainda que os sistemas ILPF podem proporcionar um maior acúmulo de COS em relação a outros sistemas. Da Conceição *et al.* (2017) avaliaram a mudança de COS em um intervalo temporal de três anos para quatro sistemas de cultivo: ILPF, pastagem solteira, plantação de eucalipto e lavoura sob plantio direto. O sistema ILPF foi aquele que obteve o maior ganho de carbono orgânico no solo, (DA CONCEIÇÃO *et al.*, 2017).

No estudo conduzido por da Conceição *et al.* (2017) a pastagem fertilizada e o sistema ILPF atingiram valores de SOC próximos ao da vegetação nativa. Carvalho *et al.* (2014) também registraram uma proximidade entre os valores de SOC do sistema ILP estudado e a vegetação nativa, inserida no bioma Cerrado. Além disso, nesse trabalho o

sistema ILP foi o de maior SOC quando comparado à pastagem mal manejada e à lavoura de grãos sob plantio direto (CARVALHO *et al.*, 2014). Outros trabalhos apontam os sistemas ILPF como prática que podem contribuir para o acúmulo de COS em relação à lavoura solteira, mesmo que seja cultivada sob plantio direto. Loss *et al.* (2011) encontrou valores mais elevados de teor de COS em sistemas ILP sob plantio direto do que em lavouras solteiras também sob plantio direto.

Em contraposição a esses estudos, Marchão *et al.* (2009) encontraram valores superiores de COS em lavouras de grãos em comparação à pastagens solteiras e em sistemas ILPF. Já de Sant-Anna *et al.* (2017) observam que, apesar de o maior valor de COS em seu estudo ter sido encontrado em uma área de ILP, em alguns casos, nem mesmo áreas com ILP sob plantio direto registraram acúmulo de COS. Salton *et al.* (2014) observaram que áreas de ILP e pastagem solteira obtiveram os maiores valores de COS, sendo o da segunda ligeiramente superior ao da primeira. Dessa forma, ainda existem muitas incertezas relacionadas não somente à capacidade de diferentes solos estocarem carbono como também ao impacto que sistemas integrados de produção, como a ILP, podem ter no incremento de COS quando comparados a outros sistemas.*et al*Essas medidas de intensificação da pecuária podem ainda trazer o benefício adicional de economizar terras, o efeito poupa-terra. Segundo Vieira Filho (2016), quando comparados os anos de 1985 e 2006, a evolução da produtividade animal causada por incrementos no rendimento da carcaça e na taxa de lotação das pastagens durante esse período possibilitou a economia 142 milhões hectares. Já de acordo com Martha Júnior, Alves e Contini (2011), de 1950 à 2006, o aumento da oferta de carne bovina foi possível principalmente devido a ganhos de produtividade, que teriam poupado 525 milhões de hectares nesse período. Alguns autores, entretanto, argumentam que a intensificação da produção agropecuária pode não trazer necessariamente um efeito poupa-terra, mas um efeito rebote: com a maior produtividade, os preços tendem a cair, o que provoca um aumento de demanda (ALCOTT, 2005; DESQUILBET; DORIN; COUVET, 2017).

Nesse sentido, outros trabalhos apontam que a intensificação da produção de alimentos não resolverá sozinho o desmatamento e a falta de acesso à alimentos, mas que pode sim ser uma solução se integrada com outras abordagens de governança e políticas públicas (BYERLEE, STEVENSON; VILLORIA, 2014*et al*; DOS SANTOS *et al.*, 2020; MELI; BENAYAS; BRANCALION, 2019; PHALAN *et al.*, 2016*et al*).

3.2 Avaliação de ciclo de vida e a contabilização de emissões de GEE na agropecuária

A maioria dos estudos que quantificaram as emissões de sistemas produtivos de gado de corte, soja e milho o fizeram através uma avaliação de ciclo de vida (ACV) stricto sensu, seguindo as normas da Organização Internacional de Normalização (ISO), ou de uma metodologia similar à ACV, mas que não pode ser denominada de tal por não seguir as diretrizes ISO 14040 e ISO 14044.

Segundo SAIC (2006), a ACV é uma abordagem metodológica de avaliação dos impactos ambientais cumulativos de um produto ao longo de todas as suas fases de vida, do “berço”, ou seja, da sua extração, ao “túmulo”, etapa de manejo de seus resíduos. Já Brandão, Mila i Canals e Clift (2021) conceitualizam a ACV como uma ferramenta de análise dos impactos ambientais dos elementos de entrada e saída de um sistema, podendo ser aplicada a um produto, serviço ou sistema, do “berço” ao “túmulo”. Embora diverjam em alguns detalhes, ambas as definições são similares na conceptualização geral do que é uma ACV (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; SAIC, 2006).

A ACV geralmente é constituída de quatro fases (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GUINÉE e HEIJUNGS, 2005; SAIC, 2006), conforme ilustrado na Figura 1.

- Definição de objetivos e escopo: quando se estabelece o que está sendo avaliado (produto, serviço ou sistema) por qual motivo e a fim de obter que tipos de resultados. Além disso, é nessa fase que as fronteiras do sistema são delimitadas, envolvendo todas as entradas e saídas relacionadas ao objeto avaliado, assim como a unidade funcional.
- Análise de inventário de ciclo de vida: etapa na qual as entradas e saídas do sistema (energia, água, emissões de GEE, materiais, etc.) são identificadas e quantificadas.
- Avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV): etapa na qual os diferentes impactos ambientais do produto, serviço ou sistema final são identificados, normalizados e organizados em categorias de impacto ambiental diversas.

- Interpretação de ciclo de vida: envolve a interpretação dos resultados da ACV de acordo com os objetivos estabelecidos e com os dados de entrada e processos quantificados. Por isso, ela permeia todas as outras fases da ACV.

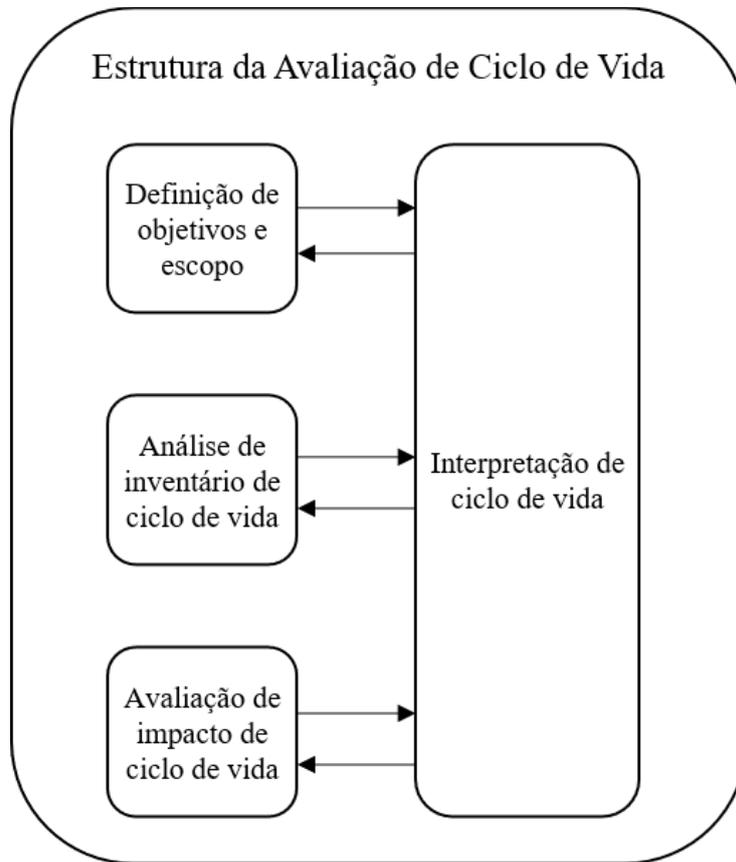


Figura 1: Estrutura de ACV. Elaboração própria com base em Brandão, Mila i Canals e Clift (2021), Guinée e Heijungs (2005) e SAIC (2006).

Os autores ainda destacam que as ACVs podem ser desenvolvidas sob duas abordagens metodológicas diferentes: a atribucional e a consequential (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; SAIC, 2006). Segundo SAIC (2006), a primeira busca responder à questão de como são os fluxos de entrada e saída no sistema em um determinado período no tempo, enquanto a segunda pretender analisar como esses fluxos se alteram conforme certos parâmetros são estabelecidos e decisões tomadas.

Assim, a ACV atribucional, também conhecida como contabilização descritiva, é caracterizada por ser uma análise de um sistema estático que não interage com outros sistemas além de suas fronteiras. Nela, a avaliação é conduzida de maneira a registrar e quantificar os impactos ambientais associados à um produto, serviço ou sistema sem influência externa. Já a ACV consequential é desenvolvida para avaliar um sistema

dinâmico, que é dependente de mudanças e elementos para além de suas fronteiras (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; SAIC, 2006).

Essas duas abordagens de ACV também diferem na forma com que lidam com a alocação, termo que indica a distribuição de processos e fluxos de um sistema entre o(s) produto(s) ou serviço(s) gerados a partir de alguma relação comum entre eles, chamada de fator de alocação (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

Quando uma ACV gera mais de um produto, o produto final e pelo menos um coproduto, é frequente que esses produtos compartilhem pelo menos um processo em comum. Quando um processo gera mais de um produto, ele é chamado de processo multifuncional. A alocação visa distribuir os impactos ambientais entre esses produtos, sendo geralmente é econômica, mássica, volumétrica ou energética. (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

A ACV atribucional deve optar por distribuir os processos e fluxos entre seus produtos e/ou serviços realizando alguma forma de alocação ou expandindo as fronteiras do seu sistema, embora isso seja menos comum. Já a ACV consequencial sempre usa da expansão de suas fronteiras para evitar a alocação de processos e fluxos (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

Vale ressaltar ainda que nem sempre é necessário fazer a alocação, sendo preferencial que se evite realizá-la de acordo com as normas ISO. Ela pode ser evadida através de duas formas: subdivisão, inclusão do(s) coproduto(s) na unidade funcional e expansão do sistema (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; RAMÍREZ, 2009; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

A subdivisão consiste em decompor um processo multifuncional em mais de um subprocesso, ou processo unifuncional. Dessa maneira, é possível discernir exatamente quais são os fluxos de energia e matéria direcionados para cada um dos processos unifuncionais e, por conseqüências, para seus produtos (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; RAMÍREZ, 2009; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

Uma segunda forma de evitar a alocação é por meio da expansão das fronteiras do sistema, estratégia que pode ser adotada na ACV atribucional, mas que é característica da consequential (BRANDÃO; MILA I CANALS; CLIFT, 2021; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; RAMÍREZ, 2009; SAIC, 2006; THOMASSEN *et al.*, 2008).

A expansão do sistema analisa processos e fluxos associados a produtos fora das fronteiras do sistema e que são equivalentes ou similares ao coproduto. Ela transforma processos multifuncionais, que geram mais de um produto, em unifuncionais por meio da adição ou da subtração de fluxos e processos associados a um produto equivalente externo às fronteiras do sistema, como ilustrado na Figura 2 (AZAPAGIC; CLIFT, 1999; GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI; WBCSD, 2011; RAMÍREZ, 2009 THOMASSEN *et al.*, 2008).

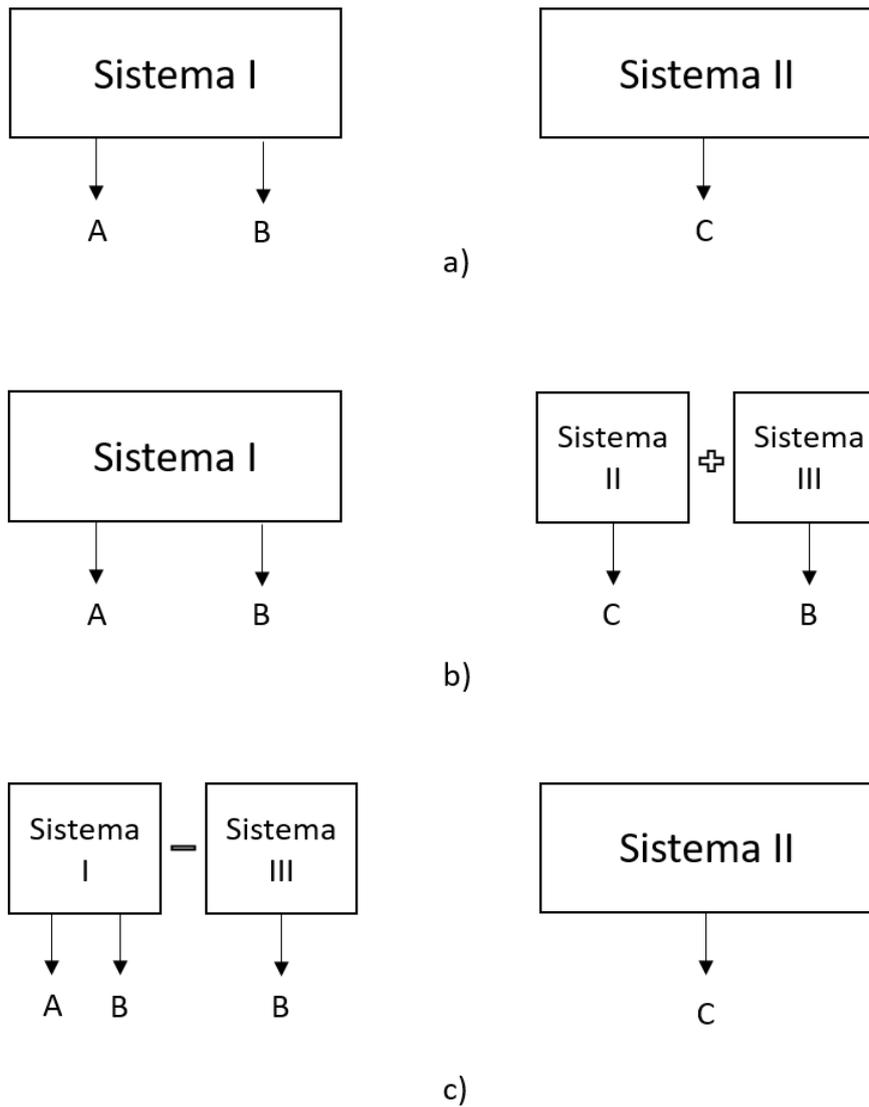


Figura 2: Ilustração da estratégia de expansão das fronteiras do sistema: a) o sistema original I é expandido para incluir o sistema II; b) expansão do sistema por adição; c) expansão do sistema por subtração. Baseada em Azapagic e Clift (1999).

Sendo assim, a ACV se mostra uma abordagem metodológica adequada para a contabilização de uma série de impactos ambientais que ocorrem ao longo do ciclo de vida de um produto. Diante disso, muitos estudos que visam contabilizar as emissões de produtos da agropecuários utilizam de uma abordagem de ACV stricto sensu ou baseada na lógica ACV para tal.

Xavier e Caldeira-Pires (2004) afirmam que, inicialmente, a ACV era utilizada para estudos de impactos ambientais de produtos e processos industriais. Quando essa metodologia foi trazida para a agropecuária, ela se restringiu em um primeiro momento às fases de beneficiamento e industrialização dos produtos, sendo os estudos voltados para a etapa produtiva do alimento mais recentes, especialmente para aqueles cultivos de

colheita única (HAYASHI; GAILLARD; NEMECEK, 2006; XAVIER; CALDEIRA-PIRES, 2004).

A ACV na agropecuária apresenta diferenças na abordagem das seguintes questões em comparação com a ACV aplicada na indústria: (i) universalidade; (ii) fronteiras do sistema; (iii) unidade funcional (HAYASHI; GAILLARD; NEMECEK, 2006). Segundo Hayashi, Gaillard e Nemecek (2006), a ACV é uma metodologia que dificilmente é limitada pela localização do produto final e de seus processos. No entanto, esse não é o caso na agropecuária, onde fatores sociais, geográficos e ecológicos influenciam diretamente nos impactos ambientais de um produto. Sendo assim, existe uma tendência de regionalização dos resultados de uma ACV na agropecuária (HAYASHI; GAILLARD; NEMECEK, 2006).

Os estudos de ACV na agropecuária frequentemente limitam as fronteiras do seu sistema “do berço à porteira” e utilizam outras unidades funcionais (geralmente o impacto ambiental em questão por área de solo) além da unidade de impacto ambiental por massa ou volume de produto (HAYASHI; GAILLARD; NEMECEK, 2006). Quando o impacto ambiental medido é a quantidade de emissões de um produto, geralmente é produzida uma pegada de GEE para o mesmo. A pegada de GEE é a quantidade total de emissões do produto em uma unidade funcional dele.

Para a bovinocultura de corte é comum que se utilize como unidade funcional o peso vivo (kg de peso vivo), peso do animal na “porteira”, quando ele já está pronto para o abate, ou peso da carcaça (kg de peso da carcaça). Já na agricultura de soja e milho para produção de grãos, a unidade mais usual é o peso do grão (kg de grãos).

Existem estudos da pegada de GEE da bovinocultura de corte brasileira tanto na escala nacional (CARDOSO *et al.*, 2016; CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; DE FIGUEIREDO *et al.*, 2017; MAZZETTO *et al.*, 2015) como regional (CERRI *et al.*, 2016; DICK; DA SILVA; DEWES, 2015; FLORINDO *et al.*, 2017; RUVIARO *et al.*, 2015).

Geralmente, os estudos baseados em dados primários foram regionais e os em dados secundários foram nacionais (CARDOSO *et al.*, 2016; CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; DE FIGUEIREDO *et al.*, 2017; MAZZETTO *et al.*, 2015). Uma exceção foi estudo de Dick, da Silva e Dewes *et al.* (2015), que modelou sistemas do sul do Brasil a partir de dados secundários regionais.

Todos os estudos que produziram uma pegada de GEE da bovinocultura de corte brasileira e que são avaliados neste trabalho quantificaram as emissões do produto do “berço à porteira” (CARDOSO *et al.*, 2016; CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; CERRI *et al.*, 2016; DE FIGUEIREDO *et al.*, 2017; DICK; DA SILVA; DEWES, 2015; FLORINDO *et al.*, 2017; MAZZETTO *et al.*, 2015; RUVIARO *et al.*, 2015).

Quanto à produção de soja em grãos, Castanheira e Freire (2013) e Raucci *et al.* (2015) produziram ACVs para a soja cultivada no Brasil central, sendo que o primeiro utilizou dados primários e o segundo secundários. Raucci *et al.* (2015) quantificaram as emissões desse grão até a porteira, enquanto Castanheira e Freire (2013) incluíram também emissões do transporte até outras localidades e emissões de mudança de uso do solo (MUT), emissões estas que foram excluídas da comparação com o presente trabalho.

Já Zortea, Maciel e Passuello (2018), produziram uma ACV do berço à porteira para a soja cultivada no Rio Grande do Sul. Os dados utilizados pelos autores foram secundários. Eles também incluíram emissões de mudança de uso da terra (MUT), que foram excluídas da comparação com o presente trabalho, e carbono orgânico no solo (COS) (ZORTEA; MACIEL; PASSUELLO, 2018).

Cardoso *et al.* (2016), além de calcularem as emissões de GEE associadas a diferentes sistemas de produção de gado de corte, também quantificaram as emissões de soja e milho utilizadas na ração animal de um de seus cenários. Nesse caso, seus cálculos também foram baseados em dados secundários e consideraram as emissões do berço à porteira.

Miranda (2016) também calculou a pegada de GEE da soja e do milho cultivados especificamente no estado do Mato Grosso a partir de dados primários. As emissões foram quantificadas do berço à porteira, com e sem MUT (MIRANDA, 2016). Já Prudêncio da Silva *et al.* (2014) contabilizaram além das emissões associadas à produção de insumos e ao cultivo do milho, as emissões de MUT e do transporte de grãos à fábrica de processamento de ração. Por último, Constantini e Bacenetti (2021) investigaram a pegada de GEE do milho safrinha em plantio direto na América Latina, mais especificamente no Paraguai, onde essa cultura é comumente utilizada como cultura de segunda safra, assim como no Brasil.

Portanto, a ACV é amplamente utilizada como metodologia para se quantificar as emissões de GEE associadas ao gado de corte bovino, principal produto deste trabalho, e

à soja e milho em grãos, coprodutos comercializados em maior ou menor grau dependendo da estratégia em questão. A aptidão da ACV para a quantificação das emissões de um produto ao longo de seu ciclo de vida e o seu amplo uso por outros trabalhos similares são as razões de utilização da lógica dessa metodologia neste trabalho.

3.3 Avaliação financeira na agropecuária

No Brasil, algumas instituições divulgam custos de produção para os principais produtos agrícolas e pecuários. Esse é o caso da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA).

A CONAB, divulga periodicamente os custos de produção das principais commodities agropecuárias de maneira detalhada, em planilhas de custo de produção a nível de estado. Ele mantém as bases de dados de acesso aberto mais detalhada entre as três instituições, com custos de insumos, maquinários e produtos agropecuários em geral, tanto a nível nacional como estadual (CONAB, 2021a; CONAB, 2021b). Além disso, a organização também produziu uma metodologia de cálculo para os custos de produção da agropecuária (CONAB, 2010)

O CEPEA produz mensalmente um índice de preços da agropecuária, o IPPA/CEPEA, além de índices específicos para cada categoria de produto (grãos, pecuária, horticultura e café-cana) (CEPEA, 2022). A instituição é mais focada em pesquisas de macroeconomia, como análises das exportações agropecuárias, do PIB e de políticas públicas para o setor.

Já o IMEA também produz relatórios de mercado e indicadores para uma seleção de produtos agropecuários, de maneira semelhante à CONAB, porém em escala regional e cobrindo menos produtos. O instituto também conta com uma base de dados com custos de alguns produtos agropecuários no estado do Mato Grosso (IMEA, 2022a, 2022b).

No âmbito privado, a empresa de consultoria IEG FNP, da IHS Markit, produz anualmente duas extensas publicações com dados econômicos, financeiros e sociais da produção de diversos produtos agropecuários, o AGRIANUAL (IEG FNP, 2021a) e o ANUALPEC (IEG FNP, 2021b).

Apesar da metodologia de cálculo da CONAB (2010) e das bases de dados da própria CONAB, do CEPEA e do IMEA estarem disponíveis gratuitamente, a grande

disparidade nos modos de produção das fazendas, no grau de tecnificação e na forma de contabilizar os custos de produção contribuem para a dificuldade de comparar os resultados dos trabalhos que avaliam os custos de produção da agropecuária, especialmente no caso da bovinocultura de corte e dos sistemas integrados (LAZZAROTTO, 2010).

3.4 Custos de abatimento na agropecuária

Ainda que uma medida de mitigação represente de fato uma redução de emissões diante de uma linha de base, essa redução não necessariamente é acompanhada de uma redução de custos da medida de mitigação. Diante disso, o custo de abatimento é muito utilizado para quantificar o custo de aplicação de uma medida de mitigação frente às emissões reduzidas, ou seja, para precificar as emissões de GEE (BRANCO; RATHMANN, 2017; DA MOTTA; COUTO; CASTRO, 2012).

Para obter o custo de abatimento de determinada estratégia de mitigação, é necessário dividir a diferença entre os custos anuais líquidos da medida de mitigação e da linha de base pela diferença de emissões entre a linha de base e a medida de mitigação (BRANCO; RATHMANN, 2017; HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998; NASSAR; SOARES FILHO; DE GOVELLO, 2010), conforme indicado a seguir.

Equação 1:

$$\text{Custo de abatimento} = \frac{(C_{em} - C_{lb})}{(E_{lb} - E_{em})}$$

Onde:

C_{em} : custo anual líquido da estratégia de mitigação no período n , em unidade monetária.

C_{lb} : custo anual líquido da linha de base no período n , em unidade monetária.

E_{lb} : emissões de GEE da linha de base no período n , em t GEE.

E_{em} : emissões de GEE da estratégia de mitigação no período n , em t GEE.

em : estratégia de mitigação

lb : linha de base.

n : período de tempo, ano.

As emissões na linha de base são sempre superiores às da estratégia de mitigação, assim, o denominador é sempre positivo. O custo de abatimento será negativo caso o custo da estratégia de mitigação seja inferior ao da linha de base (BRANCO; RATHMANN, 2017; HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998; NASSAR; SOARES FILHO; DE GOVELLO, 2010).

No caso brasileiro, Gambhir *et al.* (2021) estimam que o custo de abatimento para os cenários de limite de aquecimento global de 2 °C e 1,5 °C em 2030 corresponda à aproximadamente 0,25% e 0,75% do PIB do país nesse ano. Para esses mesmos cenários em 2050, o custo de abatimento já corresponderia à fatias bem maiores do PIB: aproximadamente 1% e 1,5%, para cenários de 2 °C e 1,5 °C, respectivamente (GAMBHIR *et al.*, 2021).

Na literatura, o cálculo de custos de abatimento por unidade de emissão, ou seja, a partir dos custos marginais ou médios, é mais frequente do que em termos totais. Segundo Branco *et al.* (2011), o custo de abatimento médio de determinada tecnologia de baixo carbono corresponde ao preço mínimo que essas emissões reduzidas deveriam ter para viabilizar a implementação dessa tecnologia.

Segundo Klepper e Peterson (2005), os custos marginais se referem tanto a perda marginal no lucro ao se evitar a última unidade de emissões ou ao custo marginal de cumprir uma determinada meta de emissão correspondente a certo nível de produção. Ellerman e Decaux (1998) afirmam que o custo marginal de abatimento se refere ao custo de se reduzir ou abater a última unidade de emissão necessária para alcançar uma meta de emissão. Essa definição é semelhante às de IPCC (2022) e Kesicki (2010), que também se refere ao custo marginal de abatimento como aquele associado à última unidade de emissão abatida para uma dada quantidade de emissões reduzidas.

No que tange especificamente o setor de Agricultura, Florestas e Mudança de uso do solo (AFOLU), Koberle *et al.* (2020) apontam que a intensificação da pecuária e o seu consequente incremento na capacidade de suporte das pastagens contribui significativamente para a redução das emissões do setor de AFOLU no modelo de análise integrada BLUES. Os autores apontam ainda que essa medida possui um baixo custo unitário de abatimento, podendo ser negativo, dependendo do cenário considerado, o que faz com que ela tenda a continuar sendo adotada independente da aplicação de restrições de emissões (KOBERLE *et al.*, 2020).

Harmsen *et al.* (2019) estimaram um potencial de mitigação de 42 Mt/ano a nível global para o metano proveniente das atividades pecuárias, majoritariamente de gado bovino. Os autores obtiveram um custo de abatimento de aproximadamente US\$ 1.000/t CH₄ para um conjunto de medidas de mitigação de metano na pecuária (HARMSSEN *et al.*, 2019). Harmsen *et al.* (2019) apontam ainda que, a nível mundial, aproximadamente 35 Mt das emissões de metano projetadas para 2030 poderiam ser abatidas a um custo de aproximadamente US\$ 600/t CH₄. Segundo UNEP (2021), outros estudos encontraram um custo de abatimento médio para o metano emitido pela pecuária de US\$ 1.000 e 600/t CH₄.

Já Soares Filho *et al.* (2017) produziram uma estimativa de emissões e custos unitários de abatimento para diversas atividades de mitigação de emissões do setor AFOLU no Brasil, sendo duas delas abordadas no presente trabalho: intensificação da pecuária e sistemas integrados. Como opções de intensificação da pecuária, os autores consideraram as estratégias de reforma de pastagens degradadas e confinamento do gado. Segundo eles, essas medidas, em conjunto, apresentaram um custo unitário de abatimento de, respectivamente, US\$ 0,32/tCO₂e e US\$ 1,99/tCO₂e, dependendo da taxa de desconto adotada pelos autores (SOARES FILHO *et al.*, 2017).

Quanto aos sistemas integrados, os autores analisaram as estratégias de ILP e ILPF, sendo que o primeiro ocuparia 90% da área estimada para sistemas integrados no país no cenário de baixo carbono. O custo unitário de abatimento dessas duas estratégias analisadas em conjunto foi negativo: US\$ -1.978 e US\$ -500/tCO₂e, dependendo da taxa de desconto. Os autores concluem que os sistemas integrados, o plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio são as medidas de maior custo-benefício, trazendo os menores custos de abatimento (SOARES FILHO *et al.*, 2017).

Já Nassar, Soares Filho e de Gouvello (2010) estimaram um custo de abatimento de um cenário de baixo carbono para a pecuária brasileira em 2030. Os autores consideraram o confinamento do gado na engorda e sistemas ILP como sendo as duas modalidades de pecuária de baixo carbono (NASSAR; SOARES FILHO; DE GOUVELLO, 2010). Eles projetaram um aumento progressivo a partir de 2010 das áreas de pecuária de baixo carbono em relação à área total ocupada pela pecuária, de modo que em 2030 60% da área de pecuária no país fosse de baixo carbono. O custo unitário de abatimento da a pecuária de baixo carbono foi de US\$ -2,5 ou 1,47/tCO₂, dependendo da abordagem de cálculo utilizada (NASSAR; SOARES FILHO; DE GOUVELLO, 2010).

De Oliveira Silva, Barioni e Moran (2015) investigaram o potencial de mitigação e o custo de abatimento das seguintes estratégias de mitigação de emissões: suplementação do gado com concentrados, suplementação do gado com proteinados, restauração do pasto, engorda em confinamento e inibidores de nitrificação. Dentre essas estratégias, as duas últimas apresentaram custos unitários de abatimento positivos de aproximadamente R\$ 62 e R\$ 80/t CO₂e. A restauração de pastagens teve um custo de abatimento nulo, enquanto as duas primeiras medidas obtiveram resultados negativos de aproximadamente -R\$16 e -R\$5,50/t CO₂e, respectivamente. Vale ressaltar que esses valores estão em R\$2012 (DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015).

5. Metodologia

A metodologia deste trabalho foi dividida em quatro etapas gerais, indicadas na Figura 3.



Figura 3: Fluxograma com as principais etapas do trabalho. Elaboração própria.

Primeiro, foram caracterizadas as estratégias de mitigação de GEE na cadeia de abastecimento de gado bovino de corte na região do Centro-Oeste brasileira a serem investigadas, ou seja, foram estabelecidas as premissas comuns a todas e as particularidades que definem cada uma. Nesta etapa, cada uma das estratégias é descrita em termos qualitativos e quantitativos. Cada uma das estratégias foi avaliada de acordo com três escalas de produção: pequena, média e larga escala. A escala de produção foi definida de acordo com as seguintes premissas:

- Pequena escala: propriedades com 500 ha de área total, sendo 400 ha de pastagem e/ou lavoura.
- Média escala: propriedades com 2.750 ha de área total, sendo 2.200 ha de pastagem e/ou lavoura.
- Larga escala: propriedades com 5000 ha de área total, sendo 4.000 ha de pastagem e/ou lavoura.

Posteriormente, foi efetuada uma avaliação de ciclo de vida (ACV) das emissões de GEE dessas estratégias. As estratégias tiveram suas produtividades e emissões mensuradas, sendo gerada como produto no final da análise a pegada de GEE (kg CO₂e/kg de carcaça) das respectivas estratégias.

Em seguida, uma análise econômica foi desenvolvida para cada estratégia e escala de produção. Seu objetivo foi investigar a viabilidade financeira e quantificar o custo de abatimento das estratégias desenvolvidas. Como principais produtos desta análise tem-se os indicadores financeiros (VPL, TIR, receita anualizada, custo anualizado o lucro anualizado, margem líquida e custo de formação de pastagem) e o custo de abatimento (R\$/tCO₂e) das estratégias intensivas em relação à linha de base.

4.1 Estratégias de redução de emissões de GEE

Neste trabalho foram desenvolvidas quatro modelos que simulam diferentes estratégias de manejo de gado de corte e da pastagem, incluindo: uma estratégia de linha de base, a Sistema Extensivo, e as estratégias Semiconfinamento, Confinamento e ILP, que simulam sistemas de agropecuária de baixo carbono. As seguintes premissas foram adotadas para todas as estratégias desenvolvidas:

- A raça do gado de corte foi nelore, a mais comum no Brasil (CEZAR *et al.* 2005; COSTA, 2007; COSTA *et al.*, 2005; DE OLIVEIRA; MAGNABOSCO; BORGES, 2002;*et alet al* PEREIRA *et al.*, 2005).
- A estratégia Sistema Extensivo foi escolhida como a linha de base para todas as estratégias intensivas (COSTA *et al.*, 2005; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013).
- As referências utilizadas para adubação e manejo de pastagem e nutrição foram, preferencialmente, de estudos no Cerrado ou no Centro-Oeste, com gado nelore (*et al*CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).
- Todas as estratégias simularam o ciclo completo de manejo de gado de corte, trabalhando com as seguintes fases de produção: cria, recria, engorda e reprodução. No caso da estratégia Sistema Extensivo, a recria foi dividida em duas etapas, recria I e II. A fase reprodutiva é composta pelas categorias animais matrizes e touros.
- As categorias animais touros e matrizes tiveram um ganho médio diário (GMD) de peso igual a zero, pois seu objetivo não é a engorda, apenas a manutenção de peso para a reprodução.
- Bois e vacas foram destinados ao abate ao alcançarem 500 kg.
- A unidade animal (UA) utilizada foi de 450 kg de peso vivo.
- A idade de desmama foi de 8 meses (CEZAR *et al.*, 2005; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007).
- A ureia (46,6% de N), o cloreto de potássio (60% de K₂O) e o superfosfato simples (18% de P₂O₅) foram os fertilizantes utilizados para adubação nitrogenada, potássica e fosfatada, respectivamente.

- O tempo de vida das pastagens foi de 20 anos, exceto na estratégia integração lavoura-pecuária (ILP), na qual houve uma rotação de áreas a cada 4 anos, resultando em um tempo de vida da pastagem de 8 anos.

Dentro de cada estratégia, o fator espacial foi o único a sofrer variação. Ou seja, as versões em diferentes escalas de produção de uma determinada estratégia possuem exatamente os mesmos parâmetros ambientais e financeiros, diferindo apenas no tamanho da propriedade e, por consequência, na quantidade de cabeças no rebanho.

4.1.1 Estratégia Sistema Extensivo – linha de base

A estratégia Sistema Extensivo foi considerada a linha de base neste estudo, pois ela visa representar a prática de manejo mais comum e tradicionalmente reconhecida no Centro-Oeste brasileiro (CEZAR *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2005; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013).

Nesta estratégia, o sistema possui uma baixa lotação, de 0,9 unidade animal por hectare (0,9 UA/ha), o que reflete a média brasileira (DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013). As pastagens são de *Brachiaria decumbens*, espécie mais utilizada na região nas últimas décadas, especialmente em sistemas pouco tecnificados (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002).

O pasto recebeu a fertilização mínima necessária para evitar sua degradação moderada ou severa. Na implementação da pastagem foram usados: 30 kg de N/ha, 40 kg de P₂O₅/ha, 15 kg de K₂O/ha e 2.000 kg de calcário calcítico/ha. Já na manutenção da pastagem foram aplicados: 30 kg de N/ha/ano, 15 kg de P₂O₅/ha a cada 5 anos, 20 kg de K₂O/ha a cada 5 anos e 1.500 kg de calcário calcítico/ha a cada 10 anos (CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).*et al*

Além disso, o gado foi criado solto no pasto em todas as suas fases de produção, sem ração, contando apenas com suplementação mineral ao longo do ano na quantidade de 80 g de sal mineral por unidade animal por dia (g/UA/dia) (CEZAR *et al.*, 2005; GOMES *et al.*, 2015). De acordo com mais recente Censo Agropecuário aproximadamente 90% dos estabelecimentos na região fazem uso de suplementação mineral (IBGE, 2017).

Os índices zootécnicos dessa estratégia são compatíveis com aqueles divulgados para sistemas extensivos por estudos prévios e empresas de pesquisa no setor agropecuário (CORRÊA *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2005; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; PEREIRA *et al.*, 2005) Esses índices, indicados na Tabela 3, especialmente a taxa de natalidade e proporção de touros para vacas, também refletiram o menor grau de tecnificação desta estratégia quando comparada às demais.

4.1.2 Estratégia Semiconfinamento

A estratégia Semiconfinamento apresentou um grau de tecnificação superior ao da estratégia Sistema extensivo. Isso se traduziu em uma taxa de lotação mais elevada de 2 UA/ha (CEZAR *et al.*, 2005; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013).

As pastagens foram de *Brachiaria brizantha*, espécie com produção de forragem superior à *B. decumbens* e com novas variedades constantemente introduzidas no mercado (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002). O grau de tecnificação superior em relação ao manejo extensivo se refletiu na quantidade maior de adubo, no intervalo mais curto de tempo entre as aplicações de fertilizantes e corretivos e nos índices zootécnicos mais favoráveis, indicado na Tabela 3 (CFSEMG, 1999; COSTA *et al.*, 2006; IEG FNP, 2021b; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007 *et al.*).

Na implementação da pastagem foram usados: 90 kg de N/ha, 80 kg de P₂O₅/ha, 30 kg de K₂O/ha e 3.000 kg de calcário calcítico/ha. Já na manutenção da pastagem foram aplicados: 160 kg de N/ha/ano, 30 kg de P₂O₅/ha a cada 3 anos, 100 kg de K₂O/ha a cada 5 anos e 2.000 kg de calcário calcítico/ha a cada 5 anos (CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020). *et al*

Nesta estratégia, o gado foi criado solto no pasto na cria e na recria, que não foi mais dividida em recria I e II por conta do menor tempo de terminação. Na engorda, o gado foi criado em semiconfinamento, o que implica na vedação no final da época de águas de área de tamanho suficiente para suportar bois e vacas durante a época de seca (CEZAR *et al.*, 2005).

Todo o gado recebeu suplementação mineral ao longo do ano em doses de 110 g/UA/dia. Já a ração com concentrados adequada para semiconfinamento, foi fornecida apenas ao gado em fase de engorda. Essa ração é composta por milho triturado (70%), farelo de soja (29%) e ureia (1%) e é fornecida na dosagem equivalente à 1,2% do peso animal/dia (GOMES *et al.*, 2015).

O semiconfinamento foi aplicado apenas na fase de engorda, com lotação de 2,5 UA/ha, valor superior ao do restante da propriedade. Foi assumido que a vedação da pastagem no final das águas teria promovido uma maior produção de capim, o que é natural desse período do ano. Além disso, como os animais na engorda receberam suplementação alimentar de concentrados, isso também permitiu uma elevação da taxa de lotação (DA SILVA *et al.*, 2009; *et al*/DE S. THIAGO; DA SILVA, 2006; HOFFMAN *et al.*, 2014; LIMA, 2014; PINTO *et al.*, 2017; *et al*/REIS *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2009 *et alet al*).

Os ingredientes foram fabricados na própria fazenda, com exceção da ureia: a soja foi plantada em plantio direto na primeira safra, durante o verão, e o milho cultivado durante a segunda safra, do final do verão até o outono. Por conta da menor participação da soja na composição da ração de semiconfinamento em relação ao milho, existe um excedente de produção desse grão que é comercializado. Já o milho safrinha produzido foi integralmente utilizado na ração.

4.1.3 Estratégia Confinamento

A estratégia Confinamento apresentou um grau de tecnificação similar à estratégia anterior, inclusive com a mesma lotação de 2 UA/ha nas etapas de cria e recria (CEZAR *et al.*, 2005; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013).

As pastagens também foram de *Brachiaria brizantha*, a fim de garantir maior rendimento de forragem em relação à *B. decumbens* (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002). Similarmente à estratégia Semiconfinamento, o grau de tecnificação superior se refletiu na quantidade maior de adubo, no intervalo mais curto de tempo entre as aplicações de fertilizantes e corretivos e nos índices zootécnicos mais favoráveis, indicado na Tabela 3 (CFSEMG, 1999; COSTA *et al.*, 2006; IEG FNP, 2021b; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007 *et al*).

Na implementação da pastagem foram usados: 90 kg de N/ha, 80 kg de P₂O₅/ha, 30 kg de K₂O/ha e 3.000 kg de calcário calcítico/ha. Já na manutenção da pastagem foram aplicados: 151,5 kg de N/ha/ano, 30 kg de P₂O₅/ha a cada 3 anos, 100 kg de K₂O/ha a cada 5 anos e 2.000 kg de calcário calcítico/ha a cada 5 anos (CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).*et al*

Como na estratégia Semiconfinamento, o gado é criado solto no pasto durante a cria e a recria. Entretanto, durante a engorda, o gado vai para confinamento, reduzindo consideravelmente a área ocupada na propriedade. A taxa de lotação no confinamento é de 500 UA/ha (CARDOSO, 2000).

Ademais, nesta estratégia, os resíduos animais (fezes e urina) do confinamento foram reaproveitados em biodigestor para geração de fertilizante orgânico a ser aplicado na pastagem. Essa aplicação de fertilizante orgânico, diminuiu um pouco a quantidade de ureia aplicada para manutenção de pastagem em relação à estratégia Semiconfinamento, como detalhado na seção 3.1.5. O biogás gerado é queimado em flare.

Todo o gado recebeu suplementação mineral ao longo do ano em doses de 110 g/UA/dia. A ração de confinamento é composta de 80% de concentrados e 20% de volumoso e é fornecida na dosagem equivalente à 2,5% do peso animal/dia. Os concentrados foram: milho triturado (70%), farelo de soja (29%) e ureia (1%), já o alimento volumoso foi a silagem de milho, tipo de silagem muito utilizada para gado de corte em confinamento (GOMES *et al.*, 2015; IEG FNP, 2021b).

Tanto os concentrados quanto o volumoso foram produzidos na fazenda, com exceção da ureia, em regime similar ao exposto para a estratégia Semiconfinamento. Igualmente, uma parte da soja produzida foi comercializada, enquanto o milho foi utilizado somente para a produção de ração.

4.1.4 Estratégia Integração Lavoura-Pecuária

A estratégia ILP apresentou um grau de tecnificação similar às estratégias Semiconfinamento e Confinamento, sendo a taxa de lotação na cria e na recria a mesma: 2 UA/ha (CEZAR *et al.*, 2005; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; MACEDO *et al.*, 2013).

As pastagens também foram de *Brachiaria brizantha*, a fim de garantir maior rendimento de forragem em relação à *B. decumbens* (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002). Similarmente à estratégia Semiconfinamento, o grau de tecnificação superior se refletiu na quantidade maior de adubo, no intervalo mais curto de tempo entre as aplicações de fertilizantes e corretivos e nos índices zootécnicos mais favoráveis, indicado na Tabela 3 (CFSEMG, 1999; COSTA *et al.*, 2006; IEG FNP, 2021b; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007 *et al.*).

Conforme indicado na Figura 4, a propriedade foi dividida em três áreas iguais: dois terços para produção de gado de corte e um terço para produção de grãos de soja e milho safrinha em sistema plantio-direto, sendo que parte desses grãos é usada para a fabricação de ração e a parcela restante é comercializada pela propriedade (MACHADO; BALBINO; CECCON, 2011). A rotação entre as áreas ocorreu a cada 4 anos. Apesar disso, como dois terços da propriedade são dedicados à pecuária, as pastagens só se tornam áreas agrícolas a cada 8 anos.

Dessa maneira, na estratégia ILP, as pastagens foram reformadas a cada 8 anos, enquanto nas demais isso ocorre a cada 20 anos. Na área dedicada à agricultura, o cultivo de verão se iniciou com a plantação de soja em outubro/novembro e sua colheita em janeiro/fevereiro. Após a colheita da soja, o milho safrinha foi semeado, sendo colhido em junho. Sua palhada dessecada serviu então de substrato para o plantio-direto da soja na safra seguinte (*et al*CECCON, 2018; CRUZ *et al.*, 2011).

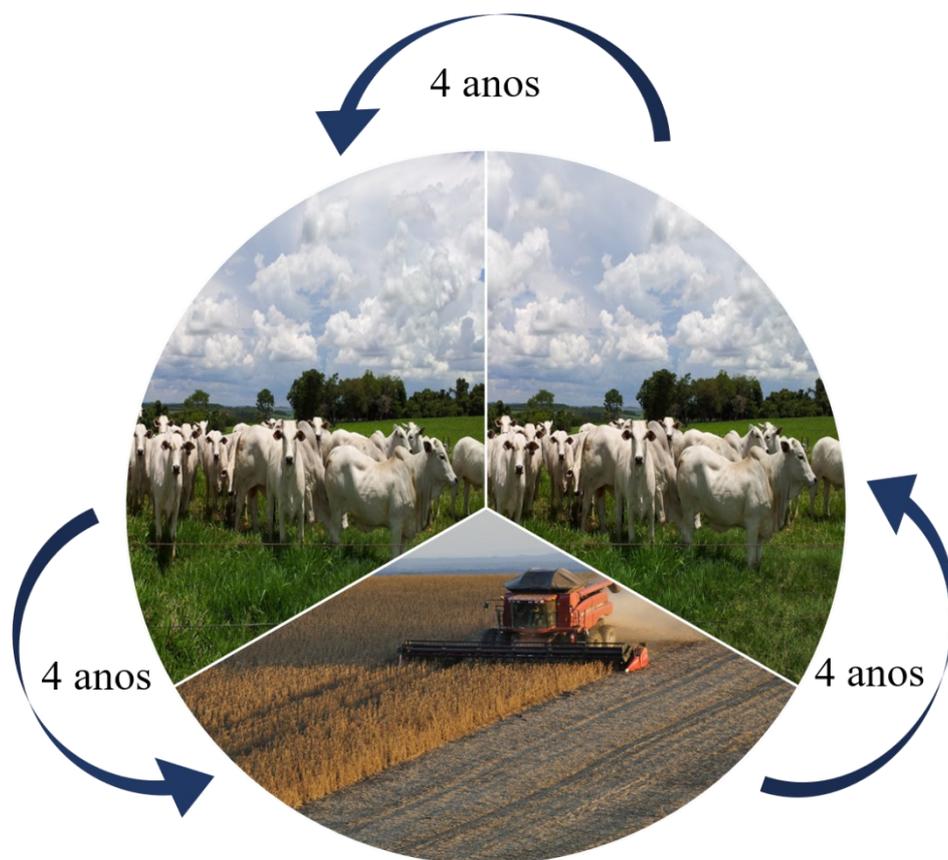


Figura 4: Esquema de rotação entre as áreas de pastejo e agricultura no sistema ILP em questão. Elaboração própria.

Na implementação da pastagem melhorada onde antes havia uma pastagem nominal foram usados: 90 kg de N/ha, 80 kg de P₂O₅/ha, 30 kg de K₂O/ha e 3.000 kg de calcário calcítico/ha. Na manutenção da pastagem melhorada onde antes havia uma pastagem nominal foram aplicados: 160 kg de N/ha/ano, 30 kg de P₂O₅/ha a cada 3 anos, 100 kg de K₂O/ha a cada 5 anos e 2.000 kg de calcário calcítico/ha a cada 5 anos (CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).*et al*

Foi assumido que o efeito residual de potássio, fósforo e calcário possibilitaria uma redução da quantidade de fertilizantes e corretivos utilizados para implantar e manter nos dois primeiros anos uma pastagem melhorada onde antes havia lavoura (DE SOUSA; LOBATO, 2004; CORDEIRO *et al.*, 2015; MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; *et al*VILELA; MARTHA JÚNIOR; DE SOUSA, 2020).

Assim, na implementação da pastagem melhorada onde antes havia uma lavoura foram usados: 81 kg de N/ha e 30 kg de P₂O₅/ha e 2.000 kg de calcário calcítico/ha. Durante a manutenção da pastagem melhorada pós-lavoura, foram aplicadas as seguintes doses de fertilizantes e corretivos: 152 kg de N/ha/ano nos dois primeiros anos de manutenção, 160 kg de N/ha/ano nos anos seguintes, 30 kg de P₂O₅/ha a cada 3 anos, 100 kg de K₂O/ha a cada 5 anos e 2.000 kg de calcário calcítico/ha a cada 5 anos *et al.*(CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).

Por serem culturas anuais, a soja e o milho receberam as mesmas doses de adubos e corretivos em todos os anos. Para a soja, foram empregados: 90 kg de P₂O₅/ha/ano, 80 kg de K₂O/ha/ano e 500 kg de calcário dolomítico/ano (CAIRES *et al.*, 2008; RAUCCI *et al.*, 2015). Já para o milho safrinha foram aplicados: 70 kg de N/ha/ano, 50 kg de P₂O₅/ha/ano, 45 kg de K₂O/ha/ano e 500 kg de calcário dolomítico/ha/ano (CRUZ *et al.*, 2011).

Na Tabela 1 são indicados os anos em que ocorrem as adubações e correções de solo em cada uma das parcelas da propriedade que aplica o ILP.

Tabela 1: Calendário de adubação do sistema ILP. As letras N, P, K e C nas colunas de adubação e correção do solo simbolizam, respectivamente, as adubações nitrogenada, fosfatada e potássica e o calcário calcítico ou dolomítico.

Anos	Área A		Área B		Área C	
	Estado	Adubação e correção do solo	Estado	Adubação e correção do solo	Estado	Adubação e correção do solo
0	Pastagem melhorada	N + P + K + C	Pastagem melhorada pós-pastagem nominal	N + P + K + C	Lavoura	P + K + C
1	pós-pastagem	N		N		P + K + C
2	nominal	N		N		P + K + C
3		N + P		N + P	P + K + C	
4	Lavoura	P + K + C	Pastagem nominal	N + K	Pastagem melhorada pós-lavoura	N + P + C
5		P + K + C		N + C		N
6		P + K + C		N + P		N
7		P + K + C		N		N + P
8	Pastagem melhorada pós-lavoura	N + P + C	Lavoura	P + K + C	Pastagem melhorada pós-lavoura	N + K
9		N		P + K + C		N + C
10		N		P + K + C		N + P
11		N + P		P + K + C		N
12		N				N + P + C

13		N + K + C	Pastagem melhorada pós- lavoura	N		P + K + C
14		N + P		N		P + K + C
15		N		N + P		P + K + C
16	Lavoura	P + K + C		N + K	Pastagem melhorada	N + P + C
17		P + K + C		N + C		N
18		P + K + C	N + P	pós- lavoura	N	
19		P + K + C	N		N + P	

O gado foi criado solto no pasto durante a cria e a recria. Na engorda, o gado seguiu para regime de semiconfinamento, o que, assim como na estratégia Semiconfinamento. O diferimento da pastagem e a suplementação alimentar com concentrados promoveram uma taxa de lotação de 2,5 UA/ha (DA SILVA *et al.*, 2009; *et al*/DE S. THIAGO; DA SILVA, 2006; HOFFMAN *et al.*, 2014; LIMA, 2014; PINTO *et al.*, 2017; *et al*/REIS *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2009 *et alet al*).

Todo o gado recebeu suplementação mineral ao longo do ano em doses de 110 g/UA/dia. A ração de semiconfinamento na estratégia ILP foi idêntica à utilizada na estratégia Semiconfinamento (GOMES *et al.*, 2015). No entanto, ao contrário desta última, na estratégia ILP, houve a venda tanto de milho safrinha como de soja em grãos.

4.1.5 Comparação entre as estratégias

Abaixo seguem tabelas comparativas que mostram como alguns parâmetros variaram entre as estratégias.

Tabela 2: Parâmetros de ganho médio diário (GMD), peso inicial, peso médio e peso final de acordo com a categoria animal, a fase de produção e a estratégia.

Estratégia	Fase de produção	GMD (kg)	Categorias animais	Peso inicial	Peso Final	Peso médio
Sistema Extensivo	Cria	0,6	Bezerros	30	174	102
			Bezerras	30	174	102
	Recria I	0,3	Garrotes I	174	327	251
			Novilhas I	174	327	251
	Recria II	0,3	Garrotes II	327	435	381
			Novilhas II	327	435	381
Engorda	0,45	Bois	435	500	467	
		Vacas	435	450	442	
Semiconfinamento	Cria	0,65	Bezerros	30	186	108
			Bezerras	30	186	108
	Recria	0,45	Garrotes	186	348	267
			Novilhas	186	348	267
	Engorda	0,90	Bois	348	500	424
			Vacas	348	450	399

Confinamento	Cria	0,65	Bezerros	30	186	108
			Bezerras	30	186	108
	Recria	0,45	Garrotes	186	335	260
			Novilhas	186	335	260
	Engorda	1,40	Bois	335	500	417
			Vacas	335	450	392
ILP	Cria	0,65	Bezerros	30	186	108
			Bezerras	30	186	108
	Recria	0,50	Garrotes	186	381	284
			Novilhas	186	381	284
	Engorda	0,90	Bois	381	500	440
			Vacas	381	450	415

A estratégia Sistema Extensivo foi a única a possuir quatro fases de produção em decorrência do maior período gasto para o abate, como indicado na Tabela 2. A variação nos valores atribuídos ao ganho médio diário (GMD) das diferentes fases de produção em cada Estratégia deveu-se às seguintes premissas:

- As gramíneas *B. brizantha* bem manejadas e adubadas nas estratégias de alta tecnologia possibilitaram melhores resultados de nutrição animal do que *B. decumbens* na estratégia Sistema Extensivo (ALVIM; BOTREL; XAVIER, 2002; CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998; VILELA, MARTHA JÚNIOR, DE SOUZA, 2020).*et al*
- Na fase de cria, foi assumido que, devido à melhor nutrição das matrizes e à maior fertilidade das pastagens, bezerros e bezerras das estratégias de alta tecnologia teriam um GMD superior aos da estratégia Semiconfinamento (PORTO, 2009).
- Na estratégia Sistema Extensivo, a engorda teve início na época das águas, justamente para possibilitar maiores ganhos de peso animal. Já os valores de GMD das recrias I e II nessa estratégia refletiram o ganho de peso médio do animal ao longo do ano, considerando os ganhos de peso nas águas e na seca (CORRÊA *et al.*, 2001).
- Nas estratégias de alta tecnologia, o nível de adubação e correção da pastagem mais intensivo, assim como a periodicidade maior dessas operações, também influenciaram o maior GMD em todas as fases de produção, já que pastagens bem manejadas possibilitam ganhos de peso superiores ao gado anos (*et al*CFSEMG, 1999; COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; MACEDO, 2004; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998;).

- A estratégia ILP possibilitou um GMD moderadamente superior ao de outras estratégias intensivas na recria e ao da estratégia Semiconfinamento na engorda, por conta da maior fertilidade do solo, associada a um manejo integrado, e ao efeito residual de culturas anteriores à pastagem (CORDEIRO *et al.*, 2015; KICHEL *et al.*, 2011; *et al*MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006; *et alet al*VILELA; MARTHA JÚNIOR; DE SOUSA, 2020).
- As rações de semiconfinamento e confinamento foram as principais responsáveis pelos ganhos de peso atribuídos à engorda nas diferentes estratégias de alta tecnologia (BENTO *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2015; IEG FNP, 2021b; LIMA, 2014*et al*).

A Tabela 3 compara os índices zootécnicos de acordo com o grau de tecnificação das estratégias.

Tabela 3: Índices zootécnicos.

Índices zootécnicos	Sistema Extensivo	Estratégias intensivas
Relação touro/vaca (%)	4	3
Taxa de natalidade (%)	65	80
Taxa de mortalidade de Bezerros (%)	6	3
Taxa de mortalidade da Recria I (%)	3	2
Taxa de mortalidade da Recria II (%)	2	-
Taxa de mortalidade da Engorda (%)	2	2
Taxa de descarte (%)	15	20
Rendimento da carcaça (RC) de machos (%)	52	55
Rendimento da carcaça (RC) de fêmeas (%)	49	52

Os índices zootécnicos da estratégia Sistema Extensivo consideraram valores médios para pastagens nominais no Brasil central. Às estratégias Semiconfinamento, Confinamento e ILP foram atribuídos os mesmos índices zootécnicos, já que as três são consideradas de alta tecnologia (CORRÊA *et al.*, 2001; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999*et al*).

A Tabela 4 e a Tabela 5 indicam a quantidade de adubos e de corretivos utilizados na implementação e na manutenção das pastagens, respectivamente.

Tabela 4: Quantidade de adubo utilizado na etapa de implementação da pastagem.

Estratégia	Ureia (46,6% N)	Cloreto de potássio (60% K₂O)	Superfosfato simples (18% P₂O₅)	Calcário
Sistema Extensivo	64	25	222	2.000
Semiconfinamento	193	50	444	3.000
Confinamento	193	50	444	3.000
ILP	174 – pós-lavoura 193 – demais anos	0 – pós-lavoura 50 – demais anos	167 – pós-lavoura 444 – demais anos	2.000 – pós-lavoura 3.000 – demais anos

Tabela 5: Quantidade de adubo utilizado na etapa de manutenção da pastagem.

Estratégia	Ureia (46,6% N)	Cloreto de potássio (60% K₂O)	Superfosfato simples (19,5% P₂O₅)	Calcário
Sistema Extensivo	64	33	83	1.500
Semiconfinamento	343	167	167	2.000
Confinamento	325	167	167	2.000
ILP	326 – primeiros 2 anos pós-lavoura 343 – demais anos	167	167	2.000

A quantidade de adubo aplicado nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento foi similar, havendo apenas uma pequena diferença relativa à fonte de fertilizante nitrogenado. Na estratégia Confinamento, o fertilizante orgânico gerado a partir das fezes e da urina dos animais confinados foi aplicado nas pastagens de cria e recria, enquanto na estratégia Semiconfinamento não há uso de fertilizante orgânico. Assim, apesar de a quantidade de nitrogênio ser igual nas duas estratégias, parte da dose de nitrogênio na estratégia Confinamento veio de fertilizante orgânico. Como consequência, a quantidade de ureia na estratégia Confinamento foi levemente inferior à Semiconfinamento.

Já na estratégia ILP, supôs-se um nível de adubação nitrogenada inferior nos dois primeiros anos após a formação da pastagem devido ao efeito residual das culturas da soja e do milho. Apesar disso, do terceiro ao oitavo ano, empregou-se a mesma quantidade de nitrogênio das estratégias de Semiconfinamento e Confinamento, sendo que na ILP também não há uso de fertilizante orgânico. A frequência de aplicação de fertilizantes e corretivos também foi diferente entre as estratégias, conforme indicado na Tabela 6. A

estratégia ILP não está indicada na Tabela 6 por conta de seu regime de adubação e correção do solo diferenciado. Na Tabela 1, a periodicidade da adubação e da correção do solo nas áreas de pastagem dessa estratégia é indicada com melhor precisão.

Tabela 6: Frequência de aplicação de adubos e corretivos no período do ano 1 ao 19.

Estratégia	Ureia (46,6% N)	Cloreto de potássio (60% K₂O)	Superfosfato simples (18% P₂O₅)	Calcário
Sistema Extensivo	Anual	Duas vezes	Duas vezes	Duas vezes
Semiconfinamento	Anual	Quatro vezes	Seis vezes	Três vezes
Confinamento	Anual	Quatro vezes	Seis vezes	Três vezes

O tempo necessário para machos e fêmeas atingirem a idade de abate, indicado na Tabela 7, foi uma consequência da qualidade da forragem: quanto melhor a alimentação, mais rápida é a engorda (GMD mais elevado), fazendo com que o gado alcance o peso de abate precocemente.

Tabela 7: Tempo para o abate e lotação de cada estratégia.

Estratégia	Tempo para terminação (meses)	Lotação (UA/ha)
Sistema Extensivo	42	0,9
Semiconfinamento	26	2
Confinamento	23	2
ILP	25	2

Foi assumida uma lotação de 0,9 UA/ha para a Estratégia Sistema Extensivo e 2 UA/ha para as estratégias de alta tecnologia, conforme apresentado na Tabela 7. Supôs-se que o manejo mais intensivo da pastagem e a suplementação animal possibilitaria um aumento da capacidade de suporte da pastagem (COSTA; DE OLIVEIRA; FAQUIN, 2006; CORRÊA *et al.*, 2001; CFSEMG, 1999; DIAS-FILHO, 2014; IEG FNP, 2021b; KICHEL *et al.*, 2011; KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999; *et al et al* MACEDO, 2004; MACEDO *et al.*, 2013; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; VILELA *et al.*, 1998).*et alet al*

4.2 Análise das emissões de GEE

Esta análise utilizou fundamentos da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para quantificar as emissões de GEE e a intensidade do uso do solo em diferentes estratégias de manejo de pecuária de corte de ciclo completo, segundo Brandão, Mila i Canals e Clift (2021), Dias *et al.* (2018), FAO (2018) e SAIC (2006).

A emissão de GEE e a intensidade de uso do solo foram decorrentes de fluxos de matéria e energia originados antes e durante o manejo do gado de corte. Ou seja, fluxos relativos a etapas posteriores à venda dos animais para abate são desconsiderados. Assim, esta foi uma análise “do berço à porteira”. O programa Excel 2016, versão 2201, foi utilizado para realizar esta análise, seguindo as etapas apresentadas na Figura 5. Além disso, esta análise aplicou os GWPs do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2021).



Figura 5: Fluxograma das etapas da análise de emissões de GEE. Elaboração própria.

4.2.1 Fronteiras do sistema

Cada estratégia desenvolvida possui limites do seu próprio sistema, que variam de acordo com a quantidade de entradas e saídas consideradas. A fronteira da fazenda é área hipotética representativa de cada estratégia onde ocorre a produção do gado de corte em si. Essa fronteira incluiu as emissões derivadas diretamente da produção animal. Enquanto isso, a fronteira do sistema incluiu também as emissões à montante da produção do gado de corte. As emissões à montante foram aquelas relacionadas à fabricação de fertilizantes, calcário e diesel. Em todas as estratégias, as fontes de matéria e energia consideradas foram: fertilizantes (nitrogenados, potássicos e fosfatados), calcário (calcítico e/ou dolomítico), combustível (diesel), animais (UA) e terra (ha).

A Figura 6 representa as fronteiras do sistema. As diferentes cores utilizadas simbolizam as fontes de emissão, as fases de produção animal e os produtos que estão incluídos nas diferentes estratégias.

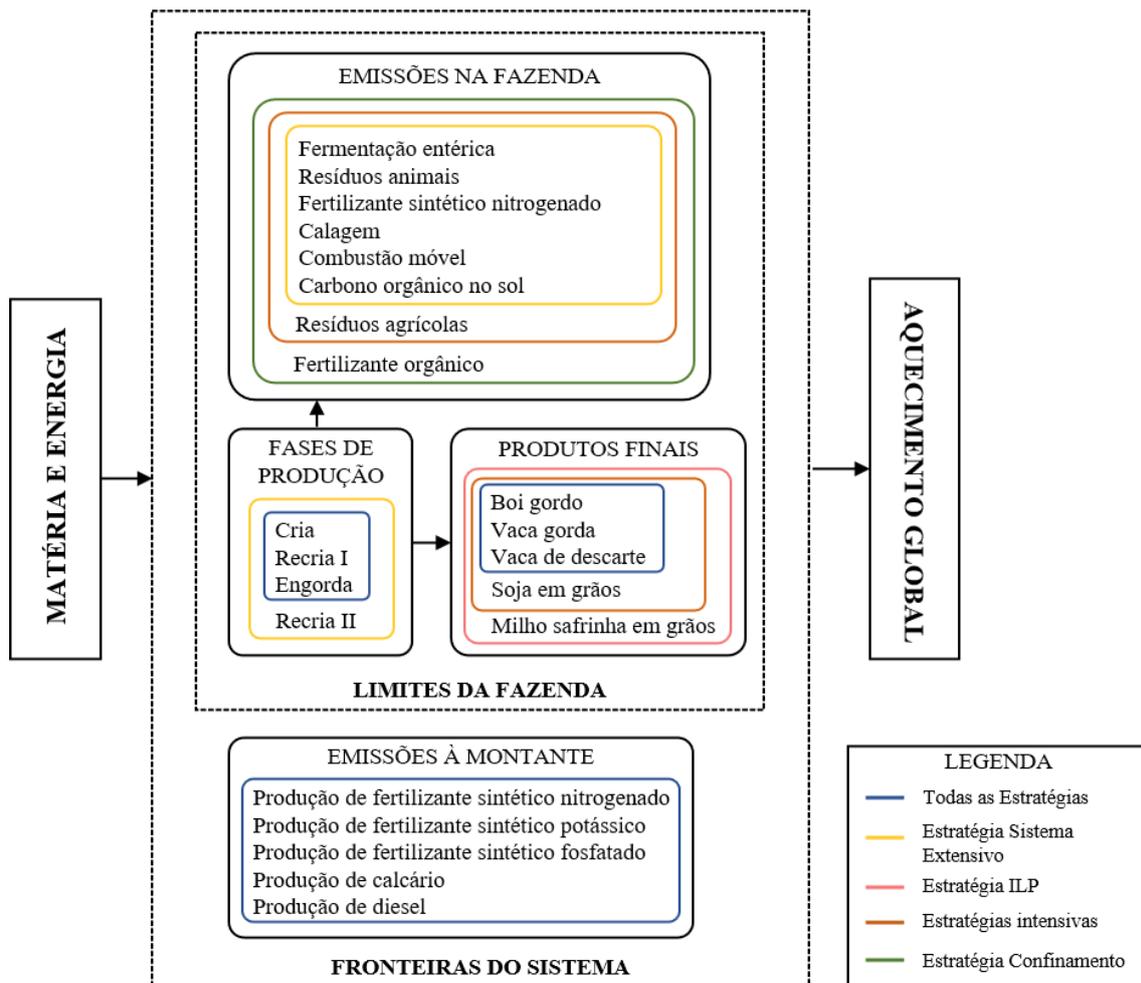


Figura 6: Fronteiras do sistema avaliadas no presente trabalho. Elaboração própria.

4.2.2 Escolha da unidade funcional

A unidade funcional escolhida para representar os fluxos de matéria e energia relacionados ao gado de corte foi 1 kg de carcaça. Sendo assim, as emissões e a quantidade de hectares utilizados pela produção do gado de corte na respectiva estratégia foram divididas pela soma do peso (kg) das carcaças de todos os animais comercializados na estratégia em questão.

No caso da estratégia ILP, mais dois produtos foram comercializados: a soja e o milho safrinha. Para estes dois produtos, a unidade funcional considerada foi de 1 kg de soja ou milho. Vale ressaltar que a parcela desses grãos que foi utilizada para a alimentação do gado teve suas emissões atribuídas ao gado. As emissões da soja e do milho foram referentes apenas aos grãos comercializados.

4.2.3 Inventário e fontes de emissões de GEE da fazenda

A etapa de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) compreendeu a quantificação dos fluxos de matéria e energia que acontecem no sistema, assim como a coleta e organização de dados necessários para esse processo.

As fontes de emissão foram quantificadas utilizando a metodologia do IPCC disposta na publicação “2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” (IPCC, 2019). Quando a metodologia ou os parâmetros de cálculo para uma fonte de emissão não se encontravam em IPCC (2019), em casos em que não houve atualização de metodologia ou parâmetros, a publicação “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” foi utilizada como guia (IPCC, 2006). Os métodos *Tier 1* e *Tier 2* foram empregadas conforme a disponibilidade de dados e a complexidade de cálculo da fonte de emissão em questão.

Na Tabela 8, são listadas as fontes de emissão de GEE localizadas dentro dos limites físicos da fazenda. Os próximos capítulos dessa seção detalham essas fontes de emissão, sendo que, algumas vezes, mais de uma fonte é condensada em um único capítulo.

Tabela 8: Fontes de emissões resultantes das atividades produtivas que ocorrem dentro dos limites da fazenda.

Fonte de emissão	GEEs gerados	Estratégia
Fermentação entérica	CH ₄	Todas
Resíduos animais	CH ₄ , N ₂ O	Todas
Fertilizante sintético nitrogenado	CO ₂ , N ₂ O	Todas
Fertilizante orgânico	N ₂ O	Confinamento
Resíduos agrícolas	N ₂ O	Semiconfinamento, Confinamento, ILP
Calagem	CO ₂	Todas
Combustão móvel	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas
Carbono orgânico no solo	CO ₂	Todas

As emissões associadas ao consumo de eletricidade pelas instalações da fazenda e à fabricação dos maquinários e implementos agrícolas utilizados no manejo do solo não foram contabilizadas neste trabalho. Não foi encontrado um valor médio de consumo de eletricidade para fazendas de bovinocultura de corte, mesmo as de sistema extensivo. Em relação às emissões de produção do maquinário e dos implementos, estas não foram contabilizadas por ter se considerado que seu volume seria irrisório em comparação ao montante total de emissões. Além disso, como a frequência de aquisição dos tratores, das

colheitadeiras e de seus implementos não é anual e, em alguns casos, é superior a 10 anos, assumiu-se que o volume dessas emissões seria pequeno até mesmo perante as emissões de outras fontes à montante, cujas emissões ocorrem anualmente.

4.2.3.1 Fermentação entérica

Por ser a principal fonte de emissão na pecuária e pela maior disponibilidade de dados, o método de *Tier 2* foi aplicado neste caso. Como mencionado anteriormente, essa fonte de emissão é constituída apenas por CH₄. A Tabela 9 indica as equações utilizadas para calcular cada um dos parâmetros necessários para a determinação do fator de emissão de fermentação entérica.

Tabela 9: Equações empregadas para a determinação das emissões de fermentação entérica.

Emissões e parâmetros calculados	Sigla	Equações
Energia líquida para manutenção animal	Nem	2
Energia líquida para atividade animal	Nea	3
Energia líquida para lactação	Nel	4
Energia líquida para o trabalho	Nework	5
Energia líquida para gravidez	Nep	6
Energia líquida para o crescimento	Neg	7
Proporção da energia líquida disponível na dieta para manutenção em relação à energia digestível	REM	8
Relação entre a energia líquida disponível para crescimento em uma dieta e a energia digestível consumida	REG	9
Energia bruta	GE	10
Fator de emissão de fermentação entérica	EF _{CH₄}	11
Emissões anuais de metano de fermentação entérica para cada categoria animal T (kg CH ₄ /cabeça/ano).	CH ₄ (entérico)	12

É importante salientar que o IPCC (2019) recomenda uma taxa de conversão de metano (Y_m) nula para bezerros que se alimentam exclusivamente de leite, como no caso deste estudo. Entretanto, essa orientação não foi seguida neste trabalho, pois resultaria em um fator de emissão (EF) igualmente nulo. Tal valor dificilmente refletiria a realidade, já que o próprio IPCC (2019) afirma que já foi detectado que mesmo bezerros alimentados exclusivamente com leite emitem uma baixa quantidade de metano.

Outros estudos ignoram a recomendação de um Y_m nulo e utilizam a mesma taxa de conversão de metano para bezerros, jovens e adultos (IPCC, 2019). A fim de contornar essa questão, o presente trabalho empregou uma taxa de conversão de metano que

correspondente à média entre os valores recomendados para bezerros que se alimentam exclusivamente de leite e aqueles que já pastejam, respectivamente, considerando a qualidade de alimentação.

As equações utilizadas para quantificar as emissões de fermentação entérica são detalhadas no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.3.2 Resíduos animais

A deposição de urina e fezes na pastagem liberara emissões constituídas por CH₄ e N₂O. A Tabela 10 sumariza as equações utilizadas para calcular as emissões associadas a cada GEE.

A abordagem *Tier 1* foi aplicada para quantificar as emissões de CH₄ e N₂O dos dejetos animais. Em todos os cenários e categorias animais os resíduos foram depositados diretamente na pastagem, com exceção da fase de engorda na estratégia Confinamento.

Tabela 10: Equações empregadas para calcular as emissões de resíduos animais.

Emissões e 45arâmetros calculados	Sigla	GEE associado	Equação
Quantidade excretada de sólidos voláteis excretada pela categoria animal T	VS _(T)	CH ₄	13
Fator de emissão de metano de dejetos depositados em pastagem para cada categoria animal T	EF _(T)	CH ₄	14
Emissões de metano da deposição de dejetos em pastagem	CH _{4(mm)}	CH ₄	15
Excreção média anual de nitrogênio por cabeça e categoria animal T	N _{ex(T)}	N ₂ O	16
Emissões diretas de N ₂ O da deposição de dejetos no sistema de manejo S	N ₂ OD _(mm, S)	N ₂ O	17

As equações utilizadas para quantificar as emissões de resíduos animais são detalhadas no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.3.3 Fertilização

Nesta subseção são agrupadas as fontes de emissão: fertilizante sintético nitrogenado, fertilizante orgânico e resíduo agrícola. Conforme referido anteriormente, o fertilizante sintético nitrogenado aplicado em todas as estratégias foi a ureia. O fertilizante orgânico gerado a partir de resíduos de animais foi utilizado apenas na estratégia Confinamento. Já o resíduo agrícola foi uma fonte de emissão em todas as estratégias

intensivas, que cultivam grãos para fabricação de ração animal e/ou comercialização, como é o caso da ILP.

A fertilização de pastagem e/ou lavoura gerou emissões de N_2O e CO_2 . A Tabela 11 mostra as equações empregadas para calcular as emissões associadas a cada GEE. As equações utilizadas para quantificar as emissões de fertilização são detalhadas no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

Tabela 11: Equações empregadas para calcular as emissões de cada GEE emitido com a fertilização das terras.

Emissões calculadas	Sigla	GEE associado	Equação
Emissões diretas anuais de N_2O produzidas a partir de solos manejados	$N_2O_{D(fertilização)}$	N_2O	18
Emissões diretas anuais de CO_2 da aplicação de ureia	$CO_{2(fertilização)}$	CO_2	19
Emissões indiretas anuais por volatilização de N_2O produzidas a partir de solos manejados	$N_2O(ATD)$	N_2O	20
Emissões indiretas anuais por escoamento e lixiviação de N_2O produzidas a partir de solos manejados	$N_2O(L)$	CO_2	21

4.2.3.4 Calagem

As emissões provenientes da calagem do solo foram constituídas apenas de CO_2 . Nas pastagens foi aplicado calcário calcítico, enquanto nas lavouras foi empregado o calcário dolomítico. A Tabela 12 mostra a equação empregada para calcular as emissões associadas à calagem.

Tabela 12: Equação empregada para calcular as emissões de CO_2 emitido com a calagem das terras.

Emissões calculadas	Sigla	GEE associado	Equação
Emissões CO_2 proveniente da calagem	$CO_{2(calagem)}$	CO_2	22

A equação utilizada para quantificar as emissões de fertilização é detalhada no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.3.5 Combustão móvel

As emissões de combustão móvel corresponderam aos GEE emitidos pelo maquinário agrícola para realizar o trabalho de preparo e manutenção do solo. O CO₂ é o principal GEE liberado durante a queima de combustível, entretanto CH₄ e N₂O também são emitidos em menor escala. Neste trabalho, foi considerado que o maquinário utilizado era movido apenas a diesel. A Tabela 13 mostra a equação empregada para calcular as emissões dos GEE resultantes da combustão móvel.

Para o manejo da pastagem, o único maquinário agrícola utilizado foi um trator de aproximadamente 115 cavalos-vapor (CV), sendo que, dependendo da operação, supõe-se que um implemento deveria ser acoplado ao trator. Já para o manejo da lavoura, tanto para ração animal quanto para comércio, além do trator com os implementos necessários, também foi considerado o uso de uma colheitadeira.

O método *Tier 1* foi empregado no cálculo desta fonte de emissão. Vale destacar que o consumo de óleo diesel pelo maquinário (C_{diesel}) foi calculado da seguinte maneira: primeiro, a fim de determinar-se o consumo de diesel por hora (L/h) do maquinário empregado nas operações agrícolas multiplicou-se a potência da máquina em cavalos-vapor (CV) por 12%, o coeficiente técnico do diesel em função da potência (CONAB, 2010).

O desempenho em horas por hectare (h/ha) do maquinário utilizado para implementação e manutenção da pastagem ou da lavoura foi retirado do ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b). A partir disso, multiplicou-se o consumo de diesel na máquina em questão (L/h) pelo seu desempenho (h/ha), de maneira a determinar o consumo de diesel por hectare (L/ha).

Por último, a quantidade de diesel consumida anualmente (L/ano) foi o resultado da multiplicação da área de pastagem e/ou lavoura (ha) pelo somatório da quantidade de diesel consumido em cada operação mecanizada (L) multiplicado pelo número de repetições da respectiva operação anualmente.

Tabela 13: Equação empregada para calcular as emissões associadas aos GEE emitidos com a combustão móvel do maquinário.

Emissões calculadas	Sigla	GEE associado	Equação
Emissões de GEE provenientes da combustão móvel	GEE _(combustão móvel)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	23

A equação utilizada para quantificar as emissões de combustão móvel é detalhada no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.3.6 Carbono orgânico no solo

O tipo de manejo de pastagens e lavoura implica no nível de estocagem de carbono orgânico no solo (COS) ao longo do tempo. Nesta seção é indicada a forma de cálculo das emissões ou remoções de CO₂ pelo solo devido ao manejo ao qual este foi submetido. O método *Tier 1* foi aplicado para esta fonte de emissão.

Existe grande variação nos valores de carbono orgânico no solo decorrente dos fatores já relatados na seção 3. Por este motivo, as emissões de GEE das estratégias foram contabilizadas de duas maneiras: considerando ou não a mudança de estoque de COS, a fim de possibilitar a comparação desses resultados e evitar possíveis incertezas nas premissas adotadas para mudança de COS de acordo com a mudança de uso do solo nas estratégias intensivas. A Tabela 16 mostra as equações empregadas para calcular as emissões ou remoções de CO₂ do solo.

Assumiu-se que o solo da pastagem da estratégia Sistema Extensivo estaria submetido ao manejo mínimo necessário para evitar a sua degradação, ou seja, a pastagem dessa estratégia foi classificada como nominal. Os solos de pastagem das estratégias intensivas foram classificados como pastagens bem manejadas. Já os solos das lavouras das estratégias intensivas não diferiram entre si: todos foram classificados como lavoura sob plantio direto.

A mudança de COS nas pastagens com a implementação das estratégias intensivas foi determinada segundo IPCC (2019), a classificação de pastagens indicada acima e as equações do Anexo II. Os parâmetros indicados na Tabela 14 foram utilizados para calcular o valor de COS no ano inicial (SOC₀) e no ano final da análise (SOC_{0-T}).

Não há mudança de COS entre o ano final e inicial da estratégia Sistema Extensivo, já que não ocorre alteração do manejo inicial nessa estratégia: a pastagem é classificada como nominal em ambos os anos. Já nas estratégias intensivas, a comparação feita é entre o ano inicial de pastagem nominal e o ano final de pastagem melhorada ou lavoura sob plantio direto.

Tabela 14: Parâmetros para cálculo de mudança de estoque de carbono orgânico no solo de pastagens.

Parâmetro	Valor	Unidade	Estratégia	Fonte	Detalhes
SOC _{REF}	38	tC/ha	Todas	IPCC, 2019	Tabela 2.3
F _{LU,inicial}	1	-	Todas	IPCC, 2019	Tabela 6.2
F _{MG,inicial}	1		Sistema Extensivo	IPCC, 2019	Tabela 6.2
F _{MG,final}	1,17	-	Intensivas	IPCC, 2019	Tabela 6.2
F _{I,final}	1	-	Intensivas	IPCC, 2019	Tabela 6.2

Similarmente, a mudança de COS nas áreas de lavouras com a implementação das estratégias intensivas foi determinada segundo IPCC (2019), a classificação de pastagens e de lavoura indicada acima e as equações do Anexo II.

Tabela 15: Parâmetros para cálculo de mudança de estoque de carbono orgânico no solo de lavouras.

Parâmetro	Valor	Unidade	Estratégia	Fonte	Detalhes
SOC _{REF}	38	tC/ha	Todas	IPCC, 2019	Tabela 2.3
F _{LU,inicial}	1	-	Todas	IPCC, 2019	Tabela 5.10
F _{MG,inicial}	1	-	Todas	IPCC, 2019	Tabela 5.10
F _{LU,final}	0,83	-	Intensivas	IPCC, 2019	Tabela 5.10
F _{MG,final}	1,10	-	Intensivas	IPCC, 2019	Tabela 5.5
F _I	1	-	Intensivas	IPCC, 2019	Tabela 5.5

Tabela 16: Equações empregadas para calcular as emissões ou remoções de CO₂ pelo solo.

Emissões e parâmetros calculados	Sigla	GEE associado	Equação
Variação anual dos estoques de C orgânico em solos minerais	$\Delta C_{\text{Mineral}}$	-	25
Estoque total de C orgânico do solo mineral em um momento definido	SOC	-	26
Emissões ou remoções de CO ₂ associado ao carbono orgânico do solo	CO ₂ (SOC)	CO ₂	27

As equações utilizadas para quantificar as emissões ou remoções de carbono orgânico são detalhadas no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.4 Inventário e fontes de emissões de GEE à montante

Na Tabela 17 são listadas as fontes de emissão de GEE localizadas fora dos limites físicos da fazenda, ou seja, à montante da produção. A produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos e fosfatados, calcário e diesel gerou emissões de CO₂, CH₄ e N₂O. Vale ressaltar que todos os fatores de emissão para as fontes listadas na Tabela 17 foram retirados da base de dados ecoinvent v3.8 (ECOINVENT, 2021).

Tabela 17: Fontes de emissão à montante.

Fonte de Emissão	GEE Gerados	Estratégia	Equação
Produção de fertilizante sintético nitrogenado	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas	27
Produção de fertilizante sintético potássico	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas	28
Produção de fertilizante sintético fosfatado	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas	29
Produção de calcário	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas	30
Produção de diesel	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Todas	31

As equações utilizadas para quantificar as emissões ou remoções de carbono orgânico são detalhadas no Anexo I. Já as variáveis são indicadas no Anexo II.

4.2.5 Alocação das emissões de GEE

Conforme explorado na seção 3.2, é recomendável que se evite realizar a alocação dos impactos ambientais analisados (por exemplo, emissões de GEE) de processos multifuncionais entre o produto final e o(s) coproduto(s).

Diante disso, o presente trabalho calculou as emissões de GEE de cada produto separadamente, de forma independente. Ou seja, cada processo está ligado somente a um produto. Dessa maneira, os processos multifuncionais foram evitados.

As emissões da soja e do milho para ração também foram calculadas dessa maneira, entretanto, como esses grãos são fornecidos ao gado após a sua produção, as emissões associadas a eles são incorporadas como emissões do gado. A única exceção a isso foi o processo de sequestro de CO₂ pela atmosfera e armazenamento de carbono no solo da lavoura. Como a soja e o milho foram plantados no mesmo espaço, apenas em períodos diferentes, não foi possível dividir esse processo multifuncional em processos unitários.

Nesse caso, foi feita uma alocação mássica: o carbono orgânico do solo da lavoura foi contabilizado nos produtos “soja” e “milho safrinha” de acordo com as respectivas quantidades produzidas (kg) desses grãos.

Equação 2:

$$SOCL_g = SOCL \times \frac{Q_g}{Q_T}$$

Onde:

SOCL_g: estoque de C orgânico do solo mineral da lavoura atribuído ao cultivo do grão *g*, toneladas de C.

SOCL: estoque total de C orgânico do solo mineral da lavoura, toneladas de C.

Q_g: quantidade produzida de *g*, kg/ano.

Q_T: quantidade total produzida de grãos de soja e milho, kg/ano.

g: grão de soja ou de milho safrinha.

No Anexo III é apresentado um diagrama com todos os processos dessa análise de emissões e como eles se relacionam.

4.2.6 Avaliação de impacto ambiental

A categoria de impacto ambiental selecionada por este trabalho é a Mudanças Climáticas. O impacto ambiental nesta categoria foi mensurado através da quantidade de gases de efeito estufa emitidos pela estratégia em questão em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) pela unidade funcional dos produtos gerados pela estratégia.

As emissões dos três GEE avaliados neste trabalho foram calculadas separadamente. A fim de mensurar a contribuição de cada um deles para o montante de emissões. As emissões dos GEE (tCO₂, tCH₄ ou tN₂O) foram então convertidas a tCO₂e multiplicando-as pelos GWPs de seus respectivos GEE, segundo o do Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2021), conforme indicado abaixo:

Equação 3:

$$E_{total} = \sum (E_{GEE} \times GWP_{GEE})$$

Onde:

E_{total} : emissões totais dos GEE, tCO₂e/ano.

E_{GEE} : emissões do GEE em questão, tGEE/ano.

GWP_{GEE} : potencial de aquecimento global do GEE em questão, indicado no Anexo I.

GEE: CO₂, CH₄ e N₂O.

4.3 Análise financeira

O programa Excel 2016, versão 2201, foi utilizado para realizar esta análise, seguindo as etapas apresentadas na Figura 7 abaixo:

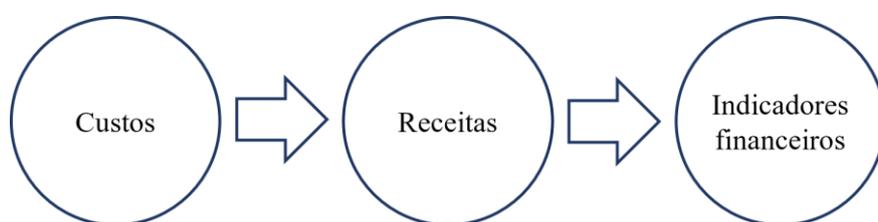


Figura 7: Fluxograma da análise financeira.

Inicialmente, os custos foram separados em fixos e variáveis, segundo as metodologias de CONAB (2010) e Costa (2007). Em sequência, foi feito um levantamento dos custos e das receitas obtidos.

Após essa etapa, as fontes de custos e receitas foram dispostas em um fluxo de caixa de entradas e saídas desde o início do ano 0, quando ocorre a implantação das estratégias, até o final do ano 19, totalizando 20 anos. Por último, alguns indicadores financeiros foram produzidos a partir do fluxo de caixa de cada estratégia, em cada escala de produção. As seções a seguir detalham melhor cada uma dessas etapas.

A taxa de juros empregada foi de 7,5% ao ano e foi escolhida com base na taxa de juros da linha de crédito Programa de Modernização da Agricultura e Conservação de Recursos Naturais (Moderagro), do Banco do Brasil, no momento de consulta ao site (BANCO DO BRASIL, 2022). O Moderagro é um programa de linha de crédito que se aplica a pessoas físicas e jurídicas que desejem crédito para uma gama ampla de atividades, compatíveis com todas as estratégias desenvolvidas. Já a taxa de desconto foi de 5%.

4.3.1 Custos

Nesta seção, são indicados os custos fixos e variáveis e como eles foram calculados ou obtidos. A maioria dos custos de produtos e serviços classificados como custos e receitas foram determinados a partir de um racional similar.

A base de dados da CONAB (CONAB, 2021) foi utilizada para mapear os custos de aquisição dos seguintes itens entre os anos de 2009-2019 nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás: máquinas agrícolas (trator e colheitadeira), implementos (grade aradora, grade niveladora, distribuidor de calcário e adubo, pulverizador e plantadeira), fertilizantes (ureia, superfosfato simples, cloreto de potássio), corretivos (calcário calcítico e dolomítico).

Já a base de dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) foi utilizada para o levantamento dos custos de aquisição do óleo diesel vendido entre 2013-2019 nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (ANP, 2021).

Os custos obtidos a partir dessas duas bases de dados para os produtos, regiões e intervalos temporais citados acima, foram organizados em uma tabela única. Esses valores foram convertidos então à R\$ 2020 utilizando-se o índice IPPA-CEPEA, a fim de entender como os custos de cada produto variaram em termos reais ao longo do tempo na região centro-oeste. Em seguida, foi calculado o custo médio de cada produto em cada estado. Posteriormente, foi obtido o custo médio de cada produto por ano para a região Centro-Oeste como um todo.

Todavia, outros produtos e serviços não puderam ter seus custos determinados dessa maneira. Esse foi o caso da mão de obra, do cercamento, das sementes, dos defensivos agrícolas (herbicidas, fungicidas e inseticidas), da saúde animal, da suplementação mineral e da hora-máquina dos aluguéis de máquinas agrícolas e implementos.

Os custos de mão de obra, cercamento, suplementos minerais, itens de saúde animal e sementes foram determinados de uma outra forma, pois seus custos ao longo dos últimos anos não foram encontrados em CONAB (2021). Sendo assim, na seção específica para cada item são detalhadas as premissas utilizadas para a determinação de seus custos.

Para a hora-máquina de máquinas agrícolas (trator e colheitadeira) e implementos (grades aradoras, grade niveladora e distribuidor de calcário e adubo) alugados, foram

aplicados os valores de hora-máquina listados no ANUALPEC 2020 para o trator, a grade aradora, a grade niveladora e o distribuidor de calcário e adubo (IEG FNP, 2021b), e no AGRIANUAL 2020 para a colheitadeira (IEG FNP, 2021a).

Os custos fixos (CF) foram definidos como aqueles que não variam de acordo com a quantidade de produto gerado, enquanto os custos variáveis (CV) foram classificados como a porção dos custos totais que variam conforme o volume de produção (CONAB, 2010; COSTA, 2007). Estes custos também podem ser chamados na contabilidade empresarial de indiretos e diretos, respectivamente (COSTA, 2007).

Custos fixos e variáveis estão indicados na Tabela 18. O custo total (CT) foi então o resultado da soma dos custos fixos e variáveis a cada ano ao longo do fluxo de caixa.

Tabela 18: Custos fixos e variáveis. * - Aplicável somente às estratégias intensivas. *2 – Aplicável somente à estratégia Confinamento.

Custos fixos (CF)
Impostos -Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR) -Imposto sobre a venda de gado em pé para abate.
Mão de obra -Salários -Encargos trabalhistas
Maquinários e implementos -Aquisição/aluguel -Manutenção
Cercamento -Instalação -Manutenção
Sementes
Defensivos agrícolas
Aquisição de novo rebanho*
Instalações de confinamento* ²
Custos variáveis (CV)
Fertilizantes e corretivos
Saúde animal
Suplementação mineral
Combustível

O valor da terra não foi incluído nesta análise. É provável que a mudança de uso de solo de pastagem nominal para pastagem bem manejada nas estratégias intensivas provoque uma valorização da terra. No entanto, devido às limitações de tempo deste estudo, não foi possível pesquisar os preços de diferentes terras, sob esses dois tipos de uso de solo, nos três estados considerados para esta análise financeira.

4.3.1.1 Impostos

Dois impostos foram contabilizados neste trabalho: o imposto sobre a propriedade territorial rural (ITR) e o imposto sobre a venda de gado em pé para abate.

De acordo com Brasil (1996), todas as propriedades rurais no Cerrado com menos de 30 ha estão isentas de recolherem o imposto sobre a propriedade territorial rural (ITR). Dessa maneira, foi necessário calcular o valor do ITR para cada Estratégia e escala de produção. Os valores de ITR pagos para as diferentes escalas de produção em cada Estratégia estão indicados no

Inicialmente, foi calculado o Valor da Terra Nua (VTN), ou seja, o quanto vale a propriedade como um todo, incluindo áreas tributáveis e não-tributáveis. O VTN foi determinado a partir de dados presentes no ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b). Primeiro, foram selecionadas apenas terras localizadas nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em seguida, filtraram-se aquelas terras classificadas no grupo de atividade “pastagem formada”.

Posteriormente, as terras foram filtradas de acordo com a capacidade de produção de cada estratégia. Para a estratégia Sistema Extensivo foram consideradas apenas terras de baixa produtividade (lotação inferior à 1,5 UA/ha); já para as estratégias Semiconfinamento, Confinamento e ILP, terras de alta produtividade (lotação superior à 1,5 UA/ha) foram selecionadas.

O valor de um hectare de terra (R\$/ha) para cada estratégia foi a média dos valores das terras selecionadas. A partir disso, o VTN foi calculado multiplicando-se o valor do hectare (R\$/ha) pelo tamanho total da propriedade (ha).

Equação 4:

$$VTN = VT_{ha} \times A_t$$

Onde:

VTN: valor da terra nua, R\$ 2020.

VT_{ha}: valor de um hectare de terra, R\$ 2020.

A_t: área total da propriedade, ha.

Após a determinação do VTN, o ITR foi calculado conforme indicado pela equação abaixo.

Equação 5:

$$ITR = \left(VTN \times \frac{A_{tb}}{A_t} \right) \times \alpha_{A_t, GU}$$

Onde:

ITR: imposto sobre a propriedade territorial rural, R\$ 2020.

VTN: valor da terra nua, R\$ 2020.

A_t : área total da propriedade, ha.

A_{tb} : área tributável da propriedade, ha.

GU: grau de utilização da propriedade, %.

$\alpha_{A_t, GU}$: Alíquota, %.

Sendo que o grau de utilização da propriedade (GU) foi determinado dividindo-se a área efetivamente utilizada para produção agropecuária pela área tributável, conforme indicado pela equação abaixo.

Equação 6:

$$GU = \frac{A_u}{A_{tb}}$$

Onde:

GU: grau de utilização da propriedade, %.

A_u : área efetivamente utilizada para produção agropecuária, ha.

A_{tb} : área tributável da propriedade, ha.

Foi considerado que a área possível de utilização corresponderia à 80% da área total da propriedade, pois 20% do imóvel no Cerrado deve ser mantido como Reserva Legal (RL). O imposto sobre a venda de gado em pé para abate foi calculado como sendo a o imposto estadual que incide sobre essa operação quando realizada dentro dos limites estaduais do Mato Grosso.

O estado do Mato Grosso permite que o produtor pecuário seja isento da cobrança de ICMS sobre a venda de gado em pé para abate em frigorífico dentro do estado caso ele e o remetente contribuam para o Fundo Estadual de Transporte e Habitação (FETHAB) e para o Fundo de Apoio a Bovinocultura de Corte (FABOV) (MATO GROSSO, 2014).

Dessa maneira, considerou-se que o produtor no Mato Grosso estaria isento do ICMS por pagar o FETHAB nos dois semestres e o FABOV anual, sendo ambas as contribuições feitas de acordo com o número de cabeças vendidas. As alíquotas de ambas as contribuições são referentes ao valor da Unidade Padrão Fiscal (UPF/MT) em junho, para o FETHAB do 1º semestre, e em dezembro, para o FETHAB do 2º semestre.

A alíquota do FETHAB pago nos dois semestres de 2020 e a do FABOV no mesmo ano foi de 11,5% e 1,26% da UPF/MT, respectivamente, conforme indicado na Tabela 19 abaixo. O valor total então foi multiplicado pela quantidade de cabeças vendidas para se chegar ao total a ser pago (FAMATO, 2020).

Tabela 19: Alíquotas e valores do imposto sobre a venda de gado em pé para abate dentro do MT.

Imposto sobre a venda de gado em pé para abate dentro do MT	% UPF/MT	Valores (R\$ 2020)
FETHAB 1º semestre	11,5%	R\$ 16,84
FETHAB 2º semestre	11,5%	R\$ 17,63
FABOV	1,26%	R\$ 1,89
Total	24,26%	R\$ 36,36

Além desses dois impostos, foi informado em comunicação eletrônica com a Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (FAMATO), que o produtor pecuário no Mato Grosso deve pagar o Fundo de Assistência ao Trabalhador Rural (Funrural) quando comercializar gado em pé para abate dentro do próprio estado¹. Neste caso, foi indicado que o produtor deveria pagar uma alíquota de 2,05% sobre o valor total da venda do gado em 2020.

Devido à dificuldade de se obter informações sobre impostos semelhantes nos outros dois estados do Centro-Oeste, apenas os impostos do Mato Grosso sobre a venda de gado em pé dentro do estado foram considerados

¹ Comunicação pessoal eletrônica por email com Thiago de Moraes da Costa, analista de assuntos trabalhistas e tributários da FAMATO, em 2022

4.3.1.2 Mão de obra

Esta seção inclui os gastos relativos aos salários dos funcionários e seus encargos trabalhistas.

Assumiu-se neste trabalho que os funcionários receberiam o salário-mínimo para o ano de 2020, R\$1.045,00 (BRASIL, 2020a). Sendo assim, o custo anual com salários de empregados (R\$/ano) foi o resultado da multiplicação do valor do salário mínimo (R\$) (R\$) por 12 meses pela quantidade de funcionários. Os encargos trabalhistas corresponderam à 45,59% do salário dos funcionários, conforme indicado pela metodologia de CONAB (2010) para relações de trabalho de período indeterminado e carteira assinada.

A fim de estimar a quantidade de funcionários requeridos para a produção pecuária, foram utilizados os dados do IEG FNP (2021b). Essa publicação indicou a relação UA/funcionário para fazendas extensivas e intensivas de 500 UA e 5.000 UA. A opção por uma relação UA/funcionário se deu de acordo com o grau de tecnificação da fazenda e da sua quantidade de UA (se estava mais próxima de 500 UA ou de 5.000 UA). As relações utilizadas para cada estratégia e escala de produção estão indicadas no Anexo IV.

Para estimar a quantidade de funcionários necessários para a lavoura nas diferentes estratégias e escalas de produção, não foi encontrada nenhuma publicação que possibilitasse o estabelecimento de alguma relação de funcionários/ha. Nesse caso, assumiu-se que, por conta do elevado grau de mecanização das lavouras de soja e milho safrinha, seria(m) necessário(s): 1 funcionário para lavouras de até 450 ha, 2 até 900 ha e 3 até 1.350 ha.

4.3.1.3 Maquinários e implementos

Esta seção envolve os seguintes custos relacionados a maquinário e implementos: aquisição e/ou aluguel e manutenção.

A metodologia para obtenção dos custos de aquisição de maquinário e implementos foi detalhada na seção 4.3.1, com exceção do custo de aquisição da caminhonete. Considerou-se que a caminhonete seria um veículo novo (“zero quilômetro”) da marca Fiat, modelo Toro Endurance, com as seguintes especificações técnicas: 4x4, fabricado

em 2020, automático, movido a diesel e com motor 2.0, com 16 válvulas. Seu custo de aquisição foi o resultado da média dos valores para os meses de janeiro e dezembro de 2020, obtidos através da tabela FIPE (FIPE, 2022).

Os maquinários e implementos, próprios ou alugados, foram financiados através de prestações anuais calculadas da seguinte maneira:

Equação 7:

$$Pgto = VP \times \left(\frac{r \times (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \right)$$

Onde:

Pgto: parcelas do financiamento realizado, R\$/ano.

VP: valor presente do recurso a ser financiado, R\$.

r: taxa de juros do financiamento, % ao ano.

n: número de anos de financiamento, anos.

Vale destacar que foi contabilizada a receita adquirida com a venda de maquinários e implementos próprios ao final da vida útil destes em anos (*salvage value*, em inglês). A Tabela 20 lista os maquinários e implementos utilizados nas Estratégias desenvolvidas nesse trabalho.

Tabela 20: Maquinários e implementos utilizados pelas estratégias.

Estratégias	Maquinário e implemento
Todas	Trator 4x4 115 CV
Todas	Grade aradora pesada
Todas	Grade aradora intermediária
Todas	Grade aradora niveladora
Todas	Distribuidor de calcário e adubo
Todas	Pulverizador
Todas	Caminhonete Toro
Semiconfinamento, Confinamento e ILP	Plantadeira
Semiconfinamento, Confinamento e ILP	Colheitadeira

O custo de manutenção de máquinas e implementos próprios foi calculado de acordo com a metodologia disposta em CONAB (2010), que considera a capacidade anual de trabalho do equipamento em horas. Os valores de vida útil em horas e anos para máquinas e implementos, bem como de taxa de manutenção para eles, também seguiram as indicações de CONAB (2010).

Equação 8:

$$C_{\text{manutenção}} = \frac{VP_C \times t_m}{\left(\frac{VU_h}{VU_a}\right)}$$

Onde:

$C_{\text{manutenção}}$: Custo de manutenção de máquinas e implementos, R\$/ano.

VC: valor presente de compra do bem novo, R\$.

t_m : taxa de manutenção definida pela CONAB (2010), sendo de 1% para máquinas e 0,80% para implementos, %.

VU_h : vida útil do bem em horas, h.

VU_a : vida útil do bem em anos.

Vale ressaltar que para a pequena escala de produção em todas as estratégias, as grades aradoras, pesadas, intermediárias e niveladoras, não foram compradas, mas alugadas.

No Anexo IV estão listados os tempos de vida útil, os custos de aquisição/aluguel e os custos anuais de financiamento e manutenção de máquinas e implementos.

4.3.1.4 Cercamento

Em todas as estratégias foram implantadas cercas tradicionais, feitas de mourões de eucalipto tratado, para delimitar a área da propriedade. Os valores para instalação e manutenção das cercas estão indicados no

Informações sobre o custo de implantação, a vida útil, o custo de manutenção e a depreciação desse tipo de cerca foram retiradas do ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b) para os estados de Mato grosso e Mato Grosso do Sul no ano de 2020. Os dados utilizados foram resultantes de uma média entre os valores dos dois estados e estão dispostos no

Dessa maneira, o custo total da implantação das cercas foi calculado multiplicando-se o custo por quilômetro de cerca (R\$/km), informado pelo ANUALPEC 2021 (IEG FNP, 2021b), pelo comprimento total (km) das cercas na propriedade, o que considerou o perímetro da propriedade e a divisão entre a área utilizada para produção e para RL.

Supõe-se uma área total da propriedade em formato retangular, com um dos lados sendo o dobro do outro. As arestas do polígono exibido na Figura 8 indicam a área cercada na propriedade no caso da estratégia Sistema Extensivo. Já a Figura 9 e a Figura 10 indicam o mesmo para as estratégias Semiconfinamento e Confinamento e ILP, respectivamente.

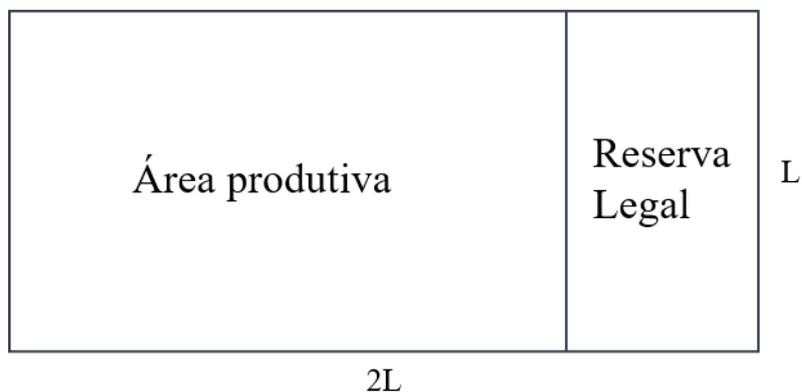


Figura 8: Área da propriedade na estratégia Sistema Extensivo.

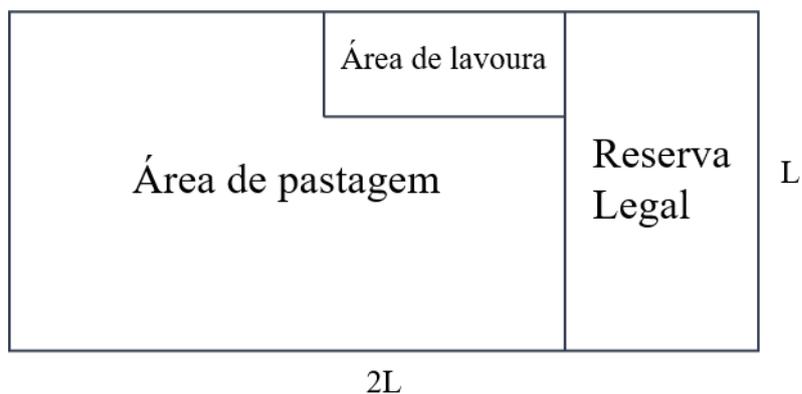


Figura 9: Área da propriedade nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento.

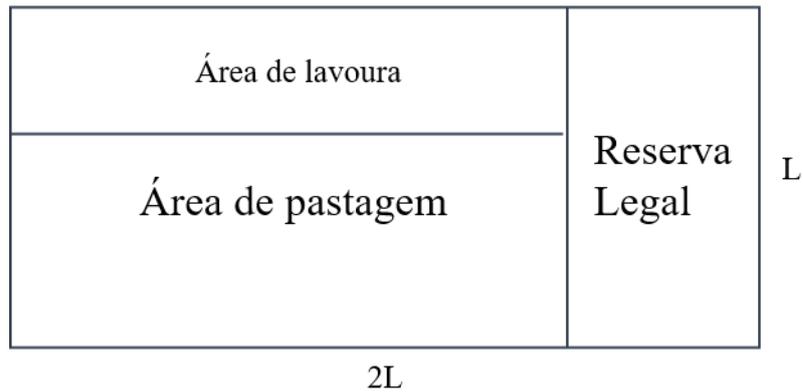


Figura 10: Área da propriedade na estratégia ILP.

O custo de manutenção foi calculado de maneira similar. Por último, o Anualpec 2021 considera que o valor residual das cercas é nulo, então não há receita com a venda dos mourões de eucalipto após o fim de sua vida útil.

4.3.1.5 Sementes

O custo de aquisição das sementes de gramíneas (R\$/kg) utilizadas foi retirado da tabela “CUTNPAS”, do ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b), considerando sementes de 36% de valor cultural (VC) ou 50% VC, dependendo da estratégia e da gramínea em questão. Os valores gastos com a compra de sementes estão indicados no Anexo IV.

A densidade de plantio da gramínea em questão (kg/ha) foi obtida dividindo-se os seus pontos de valor cultural por hectare (PVC/ha) pelo valor cultural (VC%) da semente utilizada (DIAS-FILHO, 2012). Assim, o custo total com a aquisição de sementes de determinada gramínea no ano de formação de pastagem (R\$) foi o resultado da multiplicação da densidade de plantio (kg/ha) pela área de plantio (ha) e pelo custo da semente por kg (R\$/kg).

4.3.1.6 Defensivos agrícolas

Essa categoria de custos inclui herbicidas, fungicidas e inseticida. No caso das pastagens, assumiu-se apenas a aplicação de herbicida no momento de formação, como indicado no ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b). Já nas lavouras de milho e soja, houve a aplicação dos três tipos de defensivos agrícolas anualmente. As quantidades (L/ha ou kg/ha) e os custos de cada tipo de defensivo para os dois grãos foram retirados do AGRIANUAL 2020 (IEG FNP, 2021a), pois a base de dados da CONAB listava muitos tipos e marcas de defensivos, utilizados para diversos tipos de lavouras (CONAB, 2021).

4.3.1.7 Aquisição de novo rebanho

As estratégias intensivas possuem uma taxa de lotação maior que a linha de base, dessa maneira, assumindo a transição de um tipo para o outro, no ano 0 foi contabilizada a compra de rebanho adicional a fim de ocupar a área sobrando (IMEA, 2022b).

4.3.1.8 Instalações de confinamento

Soares Filho *et al.* (2017) indicam o custo de implantação de um confinamento, que inclui a compra de equipamentos específicos e a construção de benfeitorias (currais, galpão, sistema de tratamento de dejetos, fábrica de ração, entre outras).

Não foi possível encontrar uma referência que possibilitasse o cálculo do custo de aquisição de um biodigestor para as três escalas de produção da estratégia Confinamento. Assim, foi assumido que o custo do mesmo estaria incluso dentro do relato por Soares Filho *et al.* (2017). Quanto ao custo de manutenção, utilizou-se a metodologia da CONAB (2010), que recomenda a multiplicação do custo das benfeitorias por 1%.

4.3.1.9 Fertilizantes e corretivos

A metodologia para obtenção dos custos de aquisição de fertilizantes e corretivos foi detalhada na seção 4.3.1.

O custo anual de aquisição desses produtos foi o resultado da multiplicação do custo por unidade de massa de fertilizante ou corretivo pela quantidade correspondente do produto aplicada por hectare e pela quantidade de hectares de pastagem e/ou lavoura.

4.3.1.10 Saúde animal

Neste trabalho, foram contabilizados como itens de saúde animal a vacinação e a vermifugação. Os custos relativos a esses procedimentos foram retirados do ANUALPEC 2020 (IEG FNP, 2021b), mais especificamente das tabelas “CUSTO03” e “CUSTO07”, que indicam os custos totais de sistemas extensivos e intensivos, respectivamente. Os valores gastos com saúde animal estão indicados no Anexo IV.

Dessas tabelas, foram utilizados os valores médios de custos com saúde por unidade animal (R\$/UA), de acordo com a estratégia em questão e com a escala de produção. Posteriormente, o custo com saúde por unidade animal (R\$/UA) foi multiplicado pela

quantidade de unidades animais (UA) a fim de obter-se o custo total com saúde animal por ano (R\$/ano).

4.3.1.11 Suplementação mineral

O custo relativo à suplementação animal com sal mineral foi obtido a partir de pesquisas no site MF Rural (MF RURAL, 2021) para produtos comercializados em estados do Centro-Oeste. Foi considerado o valor unitário de R\$75,00 por cada saco de 30 kg². Os valores gastos com suplementação animal estão indicados no Anexo IV.

O valor do quilo de sal mineral (R\$/kg) foi então convertido em R\$ 2020 e multiplicado pela quantidade total de sal mineral consumido anualmente a fim de obter-se o custo anual de sal mineral (R\$/ano).

4.3.1.12 Combustível

A metodologia para obtenção do custo de aquisição do óleo diesel (R\$/L) foi detalhada na seção 3.3.1. Já a maneira de se calcular o consumo de óleo diesel do maquinário foi indicado na seção. Os valores gastos com o consumo de óleo diesel para operações mecanizadas estão indicados no Anexo IV.

Assim, o custo anual (R\$/ano) relativo ao consumo de diesel durante operações mecanizadas foi obtido através da multiplicação do custo do combustível (R\$/L) em R\$ 2020 pela quantidade de combustível consumido anualmente (L/ano).

4.3.2 Receitas

A comercialização de animais para o abate é fonte de receita comum entre todas as estratégias, enquanto a comercialização de grãos de soja é praticada apenas nas estratégias intensivas e de milho safrinha em grãos é exclusividade da estratégia ILP. A metodologia para obtenção dos preços de venda de animais (R\$/@) e grãos (R\$/kg) foi detalhada na seção 3.3.1.

No caso do milho safrinha, não ficou claro se as receitas com a venda listadas em CONAB (2021) se referiam ao milho de primeira safra ou de segunda. Assim, a fim de garantir uma maior confiança no valor utilizado para a receita de milho safrinha (R\$/kg),

² Comunicação pessoal (site MF Rural, consultado em dezembro de 2021)

foram empregados os valores indicados no AGRUANUAL 2020 para cultivo de milho safrinha nos três estados do Centro-Oeste na safra de 2020-2021 (IEG FNP, 2021a). Utilizou-se, então, o valor médio desses três estados como a receita do milho safrinha por unidade de produto (R\$/kg).

Para a quantificação das arrobas produzidas, primeiro se multiplicou o peso vivo de abate de machos e fêmeas (500kg) pelo rendimento de carcaça de cada sexo, indicado na Tabela 3. Com isso, obteve-se a quantidade de carcaça (kg) gerada por um indivíduo macho e fêmea. Em seguida, esses valores foram multiplicados pelo total de machos e fêmeas, respectivamente. Por último, essa quantidade total de carcaça gerada na estratégia em questão foi dividida por 15, pois cada arroba equivale à aproximadamente 15 kg de carcaça bovina.

As receitas obtidas com a venda de cada produto foram o resultado da multiplicação de seu preço médio (R\$/kg ou R\$/@) pela quantidade de produto comercializada (kg ou @). Os valores obtidos com a venda dos produtos animais e vegetais estão indicados no Anexo IV.

4.3.3 Indicadores financeiros

Alguns indicadores financeiros foram empregados para quantificar o desempenho das estratégias simuladas em diferentes escalas de produção. Os principais indicadores financeiros são:

Valor presente líquido (VPL): traz para valor presente a soma de um fluxo de caixa de um investimento, considerando suas entradas e saídas. Projetos que tiverem um VPL acima de 0 são considerados viáveis.

Taxa interna de retorno (TIR): indica a taxa de desconto que torna o VPL nulo. Assim, a TIR simboliza o valor máximo de uma taxa de desconto que possibilita um somatório de fluxo de caixa trazido a valor presente maior ou igual a zero.

Além desses, outros indicadores também foram calculados a fim de entender como custos, receitas e lucro podem ser comparados à área produtiva (ha) e à produção animal (@) das diferentes estratégias e escalas de produção.

Receita anualizada: é a receita total dos 20 anos de produção à valor presente e anualizada, ou seja, “espalhada” pelo período do fluxo de caixa.

Custo anualizado: é o custo total dos 20 anos de produção à valor presente e anualizado.

Lucro anualizado: é o lucro total dos 20 anos de produção, resultado da subtração das entradas pelas saídas, à valor presente e anualizado.

Margem líquida: é o lucro anualizado sobre a receita anualizada.

Custo de formação de pastagem: é o custo da formação de uma pastagem, o que geralmente ocorre no ano 0, mas que, no caso da estratégia ILP, acontece em outros anos do período analisado. Este custo inclui: a adubação e correção do solo, o salário de funcionários e seus encargos trabalhistas, a manutenção das máquinas, o combustível, o cercamento, as sementes e os herbicidas.

4.4 Custos de abatimento

O cálculo do custo de abatimento objetivou quantificar a economia ou o custo de uma determinada oportunidade de mitigação de GEE frente uma linha de base (HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998; KESICKI, 2010). Neste trabalho, a linha de base foi a estratégia Sistema Extensivo, enquanto as três estratégias intensivas são as oportunidades de mitigação de GEE.

Neste estudo foi avaliado o custo de abatimento médio das emissões totais das estratégias intensivas (R\$/tCO₂e e US\$/tCO₂e), contabilizando ou não COS, devido às grandes incertezas relacionadas à quantificação do carbono orgânico no solo já mencionadas na seção 3.1. A conversão de R\$ para US\$ foi feita considerando uma taxa de câmbio de 5,15, uma média para o ano de 2020 (IPEA, 2022b). *et al*

O numerador da equação de custo de abatimento (Equação 1) foi a diferença entre os lucros da estratégia de mitigação de emissões e da linha de base, trazidos a valor presente (VPL). Como lucro é inversamente proporcional a custo (lucro positivo é igual a custo negativo), tem-se no numerador a diferença entre o VPL da linha de base com a da medida de mitigação.

Dessa maneira, a equação ficou da seguinte forma:

Equação 9:

$$\text{Custo de abatimento} = \frac{(VPL_{lb} - VPL_{em})}{((E_{lb} - (E_{em} \times FC)))}$$

Onde:

VPL_{lb}: lucro trazido a valor presente líquido da linha de base no período n , em unidade monetária.

VPL_{em}: lucro trazido a valor presente líquido da estratégia de mitigação no período n , em unidade monetária.

El_b: emissões de GEE da linha de base no período n , em t GEE.

E_{em}: emissões de GEE da estratégia de mitigação no período n , em t GEE.

FC: fator de conversão.

em: estratégia de mitigação.

lb: linha de base.

n : período de tempo, ano.

O fator de conversão (FC) empregado na equação acima é equivalente à produção em arrobas por hectare (@/ha) da estratégia de mitigação em questão. Ele foi utilizado para corrigir o aumento de emissões nas estratégias de mitigação em comparação com a linha de base. A maior lotação das estratégias intensivas faz com que suas emissões totais aumentem, embora a pegada de GEE do gado diminua.

4.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para avaliar como a variação de parâmetros ambientais e financeiros poderia modificar a pegada de GEE, os indicadores financeiros e o custo de abatimento.

Foram incluídos na análise de sensibilidade os seguintes parâmetros envolvidos na quantificação de emissões de GEE: (i) fator de emissão de fermentação entérica (EF_{CH_4}), relacionado às emissões de fermentação entérica; (ii) quantidade de nitrogênio excretada pelo gado no ano (N_{ex}), relativa às emissões de resíduos animais; (iii) quantidade de fertilizante sintético aplicado na pastagem (F_{SN}), relativa às emissões de ureia e (iv) estoque de carbono orgânico no solo na condição de referência (SOC_{REF}), relacionado às emissões de carbono orgânico no solo. No caso da estratégia ILP, também foi avaliado o (v) fator de entrada (F_I), também relacionado às emissões de carbono orgânico no solo.

Esta seleção se deve à maior contribuição destes parâmetros na emissões de GEE dos diferentes sistemas avaliados.

Quanto aos parâmetros financeiros, foram incluídos os parâmetros com maior contribuição nos custos, designadamente: (i) preço da arroba do boi gordo, a principal fonte de receita comum à todas as estratégias; (ii) custo de aquisição de fertilizantes e corretivos, uma fonte de custos relevante para a produção agrícola e pecuária, e a (iii) taxa de desconto.

A análise de sensibilidade avaliou a variação dos valores dos parâmetros ambientais e financeiros escolhidos em $\pm 15\%$. No caso da taxa de desconto, foram avaliadas as taxas de 10% e 15%.

6. Resultados

Nesta seção, os resultados das análises de emissões de GEE e econômica são apresentados e comparados entre si nas subseções 5 e 5.2.

5.1 Análise de emissões de GEE

Nesta seção, são indicados os resultados obtidos por este trabalho na contabilização das pegadas de GEE do gado, da soja e do milho comercializados pelas estratégias avaliadas. Apesar de as estratégias terem considerado três diferentes escalas de produção, não houve diferença de pegada de GEE entre as escalas de uma mesma estratégia. A diferença foi apenas nos valores totais de emissões.

5.1.1 Produção do gado

A produção de gado foi analisada conforme a quantidade de arrobas produzidas e a área necessária para a produção de 1 unidade funcional (1 kg de carcaça).

A produtividade em arrobas por hectare (@/ha) está indicada na Tabela 21. Vale ressaltar que não houve variação de produtividade significativa entre as escalas de produção de uma mesma estratégia. Além disso, a área (ha) correspondeu à quantidade de hectares necessários para a produção de uma arroba, ou seja, ela é o somatório da área de pastagem com a área de lavoura não-comercializada. É possível notar que a estratégia Sistema Extensivo foi a menos produtiva, seguida, em ordem crescente de produtividade, pelas estratégias: ILP, Semiconfinamento e Confinamento

Tabela 21: Produtividade em arrobas por hectare (@/ha) das estratégias desenvolvidas e a diferença percentual de produtividade das estratégias intensivas em relação à Sistema Extensivo.

Estratégias	Arrobas/hectare (@/ha)	Diferença para Estratégia Sistema Extensivo (%)
Sistema Extensivo	3,5	-
Semiconfinamento	11,7	234%
Confinamento	13,6	289%
ILP	11,6	231%

Já a Tabela 22 apresenta a área requerida para produção de uma unidade funcional nas estratégias desenvolvidas. Igualmente, não houve variação significativa de produtividade entre as escalas de produção de uma mesma estratégia. A estratégia Sistema Extensivo foi a mais exigente, requerendo a maior quantidade de terra para produzir uma

unidade funcional, 103 m²/kg de carcaça. As estratégias ILP, Semiconfinamento e Confinamento exigiram, respectivamente, 58, 57 e 49 m²/kg de carcaça.

Tabela 22: Área requerida para produção de uma unidade funcional nas estratégias desenvolvidas e a diferença percentual de desse valor nas estratégias intensivas em relação à Sistema Extensivo.

Estratégias	Área/unidade funcional (m²/kg de carcaça)	Diferença para Estratégia Sistema Extensivo (%)
Sistema Extensivo	103	-
Semiconfinamento	57	-45%
Confinamento	49	-52%
ILP	58	-44%

5.1.2 Emissões de GEE do gado bovino de corte

Nesta subsecção, são apresentadas as pegadas de GEE do gado em cada uma das quatro estratégias avaliadas.

A Tabela 23 e a Tabela 24 apresentam, respectivamente, as emissões totais e as pegadas de GEE do gado bovino de corte das estratégias avaliadas neste trabalho, com e sem a inclusão de carbono orgânico no solo (COS), incluindo as emissões de GEE diretas decorrentes de fermentação entérica, resíduos de animais, uso de maquinaria agrícola e aplicação de fertilizantes e corretivos de solo, assim como emissões à montante associadas à produção destes insumos e da suplementação animal (ver seção 4.2.4).

Tabela 23: Emissões de GEE do gado (kg CO₂e), com e sem consideração de COS, ao longo do ciclo de produção, nas estratégias desenvolvidas.

Escala	Estratégia	Emissões de GEE do gado s/ COS (t CO₂e)	Emissões de GEE do gado c/ COS (t CO₂e)
Pequena	Sistema Extensivo	1.355	1.355
	Semiconfinamento	2.424	1.995
	Confinamento	2.490	2.105
	ILP	1.712	1.491
Média	Sistema Extensivo	7.456	7.456
	Semiconfinamento	13.325	10.967
	Confinamento	13.682	11.568
	ILP	9.419	8.199
Larga	Sistema Extensivo	13.539	13.539
	Semiconfinamento	24.211	19.925
	Confinamento	24.880	21.036
	ILP	17.127	14.908

Tabela 24: Pegadas de GEE do gado (kg CO₂/kg de carcaça), com e sem consideração de COS, nas estratégias desenvolvidas.

Estratégias	Pegada de GEE do gado s/ COS (kg CO₂e/kg de carcaça)	Pegada de GEE do gado c/ COS (kg CO₂e/kg de carcaça)
Sistema Extensivo	65,4	65,4
Semiconfinamento	34,4	28,3
Confinamento	30,3	25,5
ILP	30,2	21,8

As estratégias intensivas emitiram mais GEE em termos absolutos do que a estratégia linha de base. Entretanto, por unidade funcional, a estratégia Sistema Extensivo obteve a maior pegada de GEE do gado: 65,4 kg CO₂e/kg de carcaça, com e sem contabilização de COS. Esta estratégia não apresentou diferença na pegada de GEE do gado assumindo ou desconsiderando a contabilização de COS, pois em ambos os casos o uso de solo anterior foi idêntico ao uso de solo posterior (pastagem nominal).

Conforme esperado, as pegadas de GEE do gado nas estratégias de maior intensificação foram consideravelmente inferiores à da Sistema Extensivo, principalmente quando se contabilizou o COS. A estratégia que traduziu maior redução de GEE face à estratégia Extensiva foi a ILP, resultando em uma emissão de 30,2 kg CO₂e/kg de carcaça, uma redução de aproximadamente 53,8%. Se considerar a captura de COS, a pegada de GEE dessa estratégia decresceu para 21,8 kg CO₂e/kg de carcaça, uma redução de cerca de 66,7%.

A estratégia Confinamento apresentou o maior volume de emissões de GEE dentre todas as estratégias. Apesar disso, sua pegada de GEE foi muito próxima à da ILP no cenário sem contabilização de COS. Entretanto, quando esse reservatório de carbono foi considerado, a pegada de GEE da estratégia Confinamento é alterada para 25,5kg CO₂e/kg de carcaça, uma redução de cerca de 61%.

As emissões absolutas da estratégia Semiconfinamento foram inferiores à de Confinamento, porém sua pegada de GEE foi maior: 34,4 kg CO₂e/kg de carcaça sem a contabilização de COS, o que representou aproximadamente 47,4% a menos de emissões por unidade funcional do que na estratégia Sistema Extensivo. Quando COS é considerado, a pegada de GEE foi reduzida em 56,7%, 28,3 kg CO₂e/kg de carcaça.

Vale ressaltar que as pegadas de GEE não variaram entre as escalas de produção porque elas são o resultado da divisão das emissões do gado pela quantidade de carcaça produzida. Escalas diferentes de uma mesma estratégia possuem os mesmos indicadores

zootécnicos e níveis de fertilização do solo, assim, sua produção de carcaça segue aumenta na mesma proporção em que a escala aumenta.

5.1.3 Emissões de GEE da soja e do milho safrinha vendidos

Nesta seção são indicadas as emissões totais de GEE dos grãos comercializados (ver Tabela 25 e Tabela 26) e as pegadas de GEE (ver Tabela 27) dos mesmos. As emissões de GEE da soja e do milho produzidos para ração animal foram alocadas como emissões de gado e, portanto, estão contabilizadas na pegada de GEE do gado. Na estratégia Sistema Extensivo não houve suplementação animal com concentrados ou volumosos, ou seja, não houve produção de soja ou milho.

A maior parte da soja produzida nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento foi usada na produção de rações de semiconfinamento e confinamento, respectivamente, enquanto que uma parcela menor foi comercializada. Dessa maneira, as estratégias Semiconfinamento, Confinamento e ILP foram aquelas que registraram uma pegada de GEE para a soja comercializada. Quanto ao milho, este grão foi integralmente usado para alimentação animal nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento. Como a estratégia ILP foi a única a comercializar os grãos de milho, esta foi a única estratégia a registrar uma pegada de GEE para este grão.

Tabela 25: Emissões de GEE da soja comercializada, sem e com a contabilização de COS, em cada estratégia e escala de produção.i

Escala	Estratégia	Emissões de GEE da soja vendida s/ COS (t CO ₂ e)	Emissões de GEE da soja vendida c/ COS (t CO ₂ e)
Pequena	Semiconfinamento	4,2	5,5
	Confinamento	16,3	21,2
	ILP	87,9	155,3
Média	Semiconfinamento	23,4	30,4
	Confinamento	90	116,9
	ILP	483,7	854,3
Larga	Semiconfinamento	28,8	41,6
	Confinamento	163,7	212,6
	ILP	879,5	1.553,3

As estratégias com os maiores volumes de emissões absolutas de soja comercializada foram, em ordem decrescente: ILP, Confinamento e Semiconfinamento. Conforme indicado Tabela 26, a pegada de GEE da soja sem a contabilização de COS foi de 0,209 kg CO₂e/kg de soja para todas as estratégias. Já quando COS foi contabilizado,

as estratégias Semiconfinamento e Confinamento apresentaram a mesma pegada de GEE, 0,271 kgCO₂e/kg de soja, enquanto a estratégia ILP teve uma pegada mais elevada, de 0,368 kgCO₂e/kg de soja.

Tabela 26: Emissões de GEE do milho comercializado, sem e com a contabilização de COS, na estratégia ILP nas três escalas de produção.

Escala	Estratégia	Emissões de GEE do milho vendido s/ COS (kg CO ₂ e)	Emissões de GEE do milho vendido c/ COS (kg CO ₂ e)
Pequena	ILP	158.053	279.022
Média	ILP	869.292	1.534.620
Larga	ILP	1.580.531	2.790.219

Já as pegadas de GEE do milho, sem e com COS, foram de, respectivamente, 0,209 e 0,369 kg CO₂e/kg de milho. A inclusão de COS representou um aumento significativo da quantidade de emissões de GEE, tanto em termos absolutos como em relação à unidade funcional. As pegadas de GEE da soja e do milho foram praticamente idênticas, diferindo apenas a partir da quarta unidade decimal.

Tabela 27: Pegadas de carbono da soja e do milho comercializados, sem e com a contabilização de COS.

Estratégia	Grão	Pegada de GEE s/ COS (kg CO ₂ e/kg de grão)	Pegada de GEE c/ COS (kg CO ₂ e/kg de grão)
Semiconfinamento	Soja	0,209	0,271
Confinamento	Soja	0,209	0,271
ILP	Soja	0,209	0,368
ILP	Milho	0,209	0,369

5.1.4 Carbono orgânico no solo

Houve uma grande redução da pegada de GEE (aproximadamente 28%) quando os cenários com e sem a contabilização de COS foram comparados na estratégia ILP. Isso significa que essa estratégia teve uma taxa anual de acúmulo de COS superior à de outras estratégias, considerando o COS da pastagem e da lavoura produtora de grãos para ração.

Nas estratégias Semiconfinamento e Confinamento, existe apenas uma mudança de uso de solo na pastagem: (i) de pastagem nominal para melhorada, em uma taxa de acréscimo de 0,323 t COS/ha/ano. Já no caso da estratégia ILP, existem três tipos de mudança de uso de solo:

- (i) Pastagem nominal para melhorada, resultando na mesma taxa de acúmulo de COS, 0,323 t COS/ha/ano.

- (ii) Lavoura para pastagem melhorada, resultando na mesma taxa de acúmulo de COS, 0,488 t COS/ha/ano.
- (iii) Pastagem melhorada para lavoura, resultando na mesma taxa de acúmulo de COS, -0,488 t COS/ha/ano.

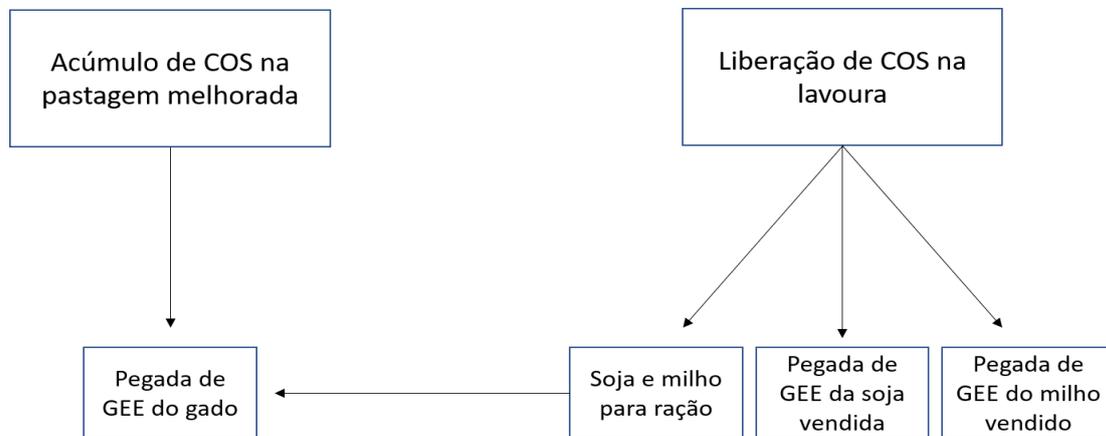


Figura 11: Alocação do COS proveniente da mudança de uso do solo para pastagem melhorada e para lavoura.

A Tabela 28 ilustra como essa taxa se modificou na estratégia ILP ao longo do período avaliado. Vale salientar que a perda de COS na transição de pastagem melhorada para lavoura (-0,488 t COS/ha/ano) foi contabilizada como emissão de gado (ração) e soja e milho safrinha comercializados, pois estes eram os cultivos presentes na terra nesse momento. Assim, as perdas de COS com a transição da pastagem melhorada para lavoura foram divididas entre o gado e a soja e o milho vendidos, conforme indicado na Figura 11. A estratégia ILP obteve como taxa de acúmulo média de COS no solo de pastagens o valor de 0,439 t COS/ha/ano. Em lavouras, essa taxa foi de -0,424 t COS/ha/ano.

Tabela 28: Variação na taxa de acúmulo de COS na estratégia ILP.

Anos	Área 1		Área 2		Área 3	
	Uso de solo	Taxa de acúmulo de COS (t COS/ha/ano)	Uso de solo	Taxa de acúmulo de COS (t COS/ha/ano)	Uso de solo	Taxa de acúmulo de COS (t COS/ha/ano)
0	Pasto melhorado	0,323	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,165
1	Pasto melhorado	0,323	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,165
2	Pasto melhorado	0,323	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,165
3	Pasto melhorado	0,323	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,165
4	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
5	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
6	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
7	Pasto melhorado	0,323	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
8	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488
9	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488
10	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488
11	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488
12	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488
13	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488
14	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488
15	Pasto melhorado	0,488	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488
16	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
17	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
18	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488
19	Pasto melhorado	0,488	Lavoura	-0,488	Pasto melhorado	0,488

5.1.5 Análise contributiva das estratégias

Nesta seção, a participação das diferentes fontes de emissão das quatro estratégias avaliadas é detalhada. Esta análise foi feita sem considerar o sequestro de emissões pelo solo (COS).

5.1.5.1 Gado

A participação das fontes de emissão de GEE do gado foram divididas em duas categorias mais amplas de emissões: emissões animais e emissões de implementação e manejo de pastagem. Em sequência, a participação das fontes de emissão no montante de emissões de gado foi avaliada de maneira individual. Por último, foi feita uma avaliação das emissões animais em cada fase de produção do gado de corte.

Conforme indicado na Figura 12, as emissões dos animais de fermentação entérica e resíduos animais corresponderam à 88% do total na estratégia Sistema Extensivo, 71% na Confinamento, 81% na ILP e 69% na Semiconfinamento. As emissões decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos e orgânicos (no caso da estratégia Confinamento), aumentaram significativamente sua participação nas estratégias intensivas, superando a contribuição dos resíduos animais. As demais emissões, que não são dessas três categorias, responderam por 6% do montante de emissões na estratégia Sistema Extensivo e por 13%, 12% e 8% nas estratégias Semiconfinamento, Confinamento, ILP, respectivamente.

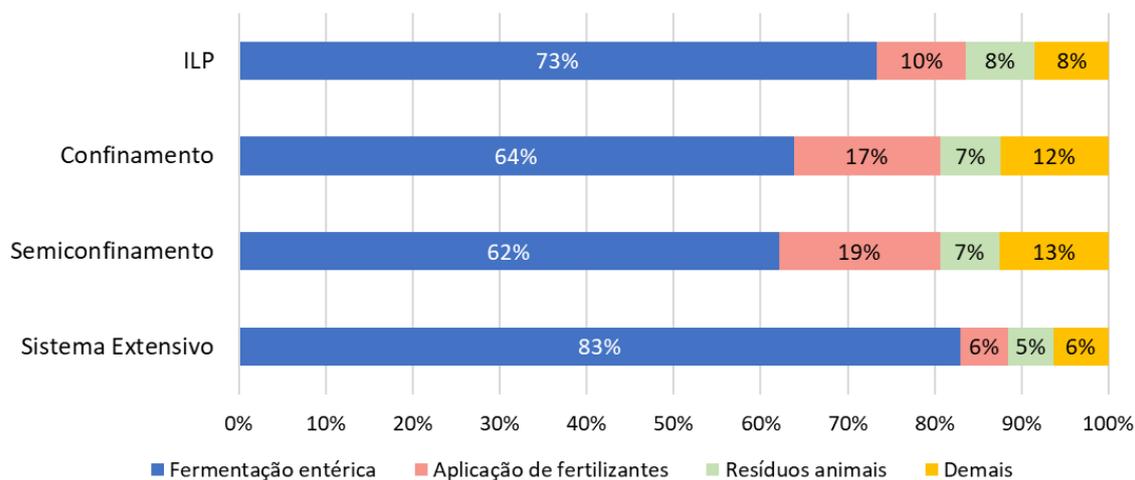


Figura 12: Participação das emissões de gado nas estratégias analisadas.

Conforme indicado na Figura 12, na estratégia Sistema Extensivo, a participação da fermentação no montante de emissões foi de 83%. Em seguida, vieram: ureia (6%), resíduos animais (5%), calagem (3%), produção de ureia (3%), combustão móvel (0,4%), produção de calcário (0,1%), produção de diesel (0,05%), produção de superfosfato simples (0,02%) e produção de cloreto de potássio (0,02%).

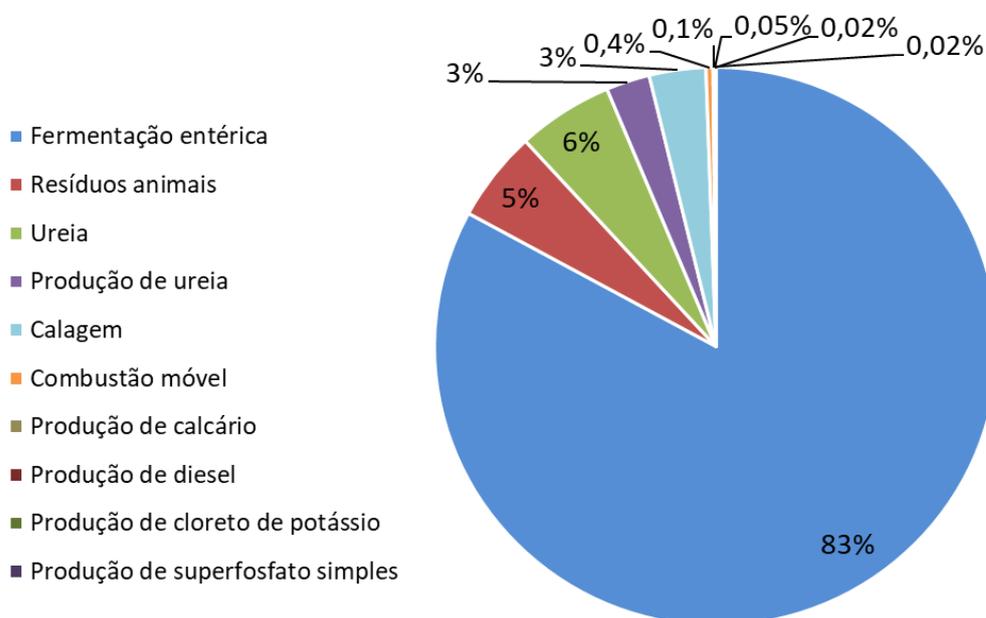


Figura 13: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Sistema Extensivo.

Para a estratégia Semiconfinamento, a Figura 14 mostra que a contribuição de cada fonte de emissão foi de: 62%, para fermentação entérica; 18% para ureia; 7% para produção de ureia; 7% para resíduos animais; 3% para calagem; 2% para ração animal;

1% para combustão móvel; 0,1% para produção de cloreto de potássio; 0,2% para produção de superfosfato simples; 0,1% para produção de calcário; 0,1% para produção de diesel.

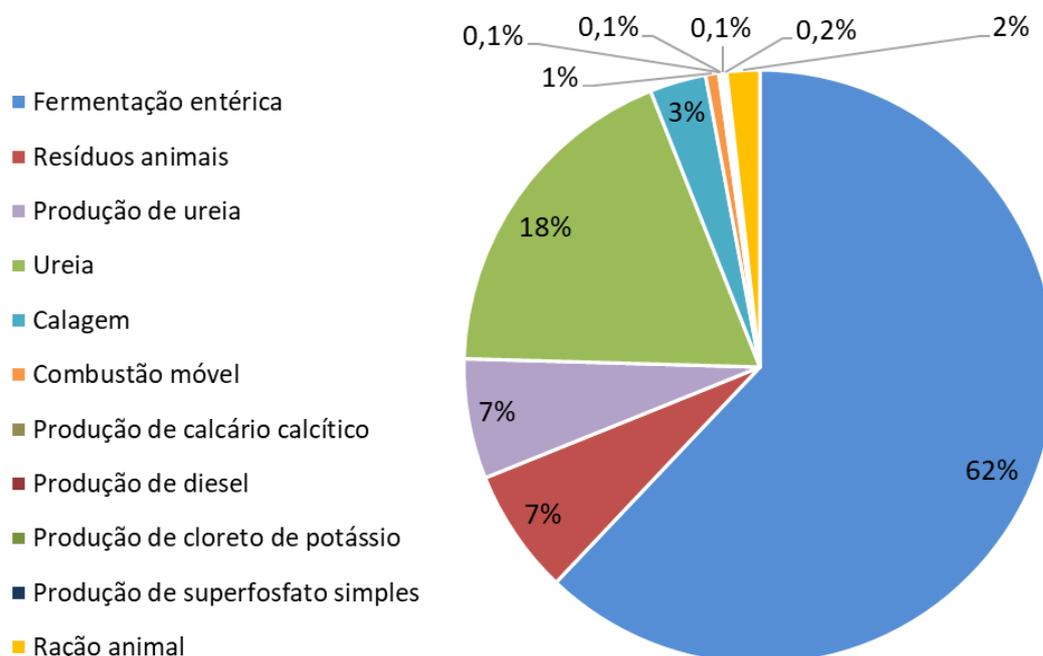


Figura 14: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Semiconfinamento.

De acordo com a Figura 15, a participação da fermentação no montante de emissões da estratégia Confinamento foi de 64%. Em seguida, vieram: ureia (16%), resíduos animais (7%), produção de ureia (5%), ração animal (4%), calagem (3%), combustão móvel (0,5%), produção de cloreto de potássio (0,1%), produção de superfosfato simples (0,04%), produção de diesel (0,1%) e produção de calcário calcítico (0,1%).

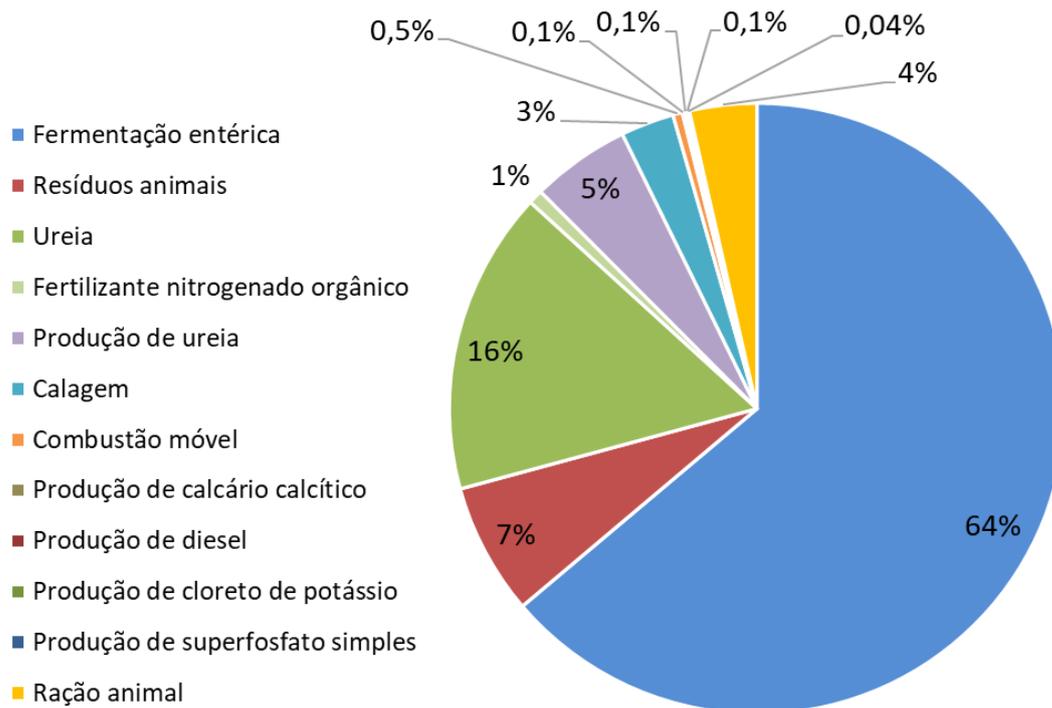


Figura 15: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia Confinamento.

Por último, para a estratégia ILP, a contribuição de cada fonte de emissão, de acordo com a Figura 16 foi de: 73%, para fermentação entérica; 10% para ureia; 8% para resíduos animais; 4% para produção de ureia; 2% para calagem; 2% para ração animal; 1% para combustão móvel; 0,2% para produção de diesel; 0,1% para produção de calcário; 0,04% para produção de superfosfato simples, 0,03% para produção de cloreto de potássio.

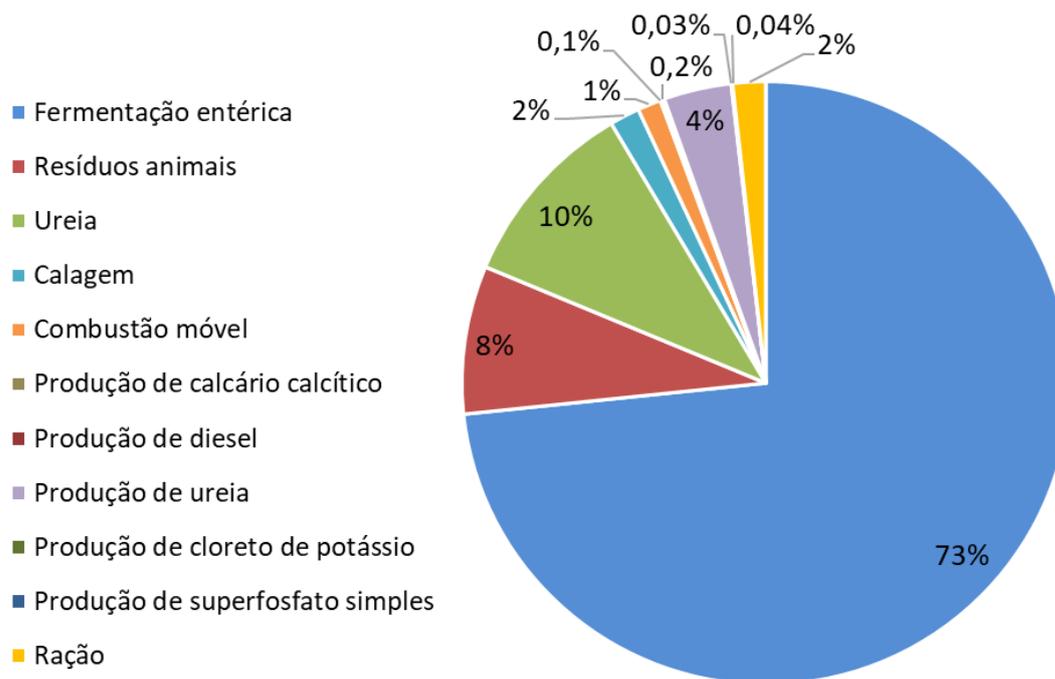


Figura 16: Participação das fontes de emissão associadas à produção do gado na estratégia ILP.

A Tabela 29 indica a participação das emissões animais de GEE de acordo com a fase de produção do ciclo completo para cada uma das quatro estratégias avaliadas.

Tabela 29: Participação das emissões animais de cada fase de produção nas diferentes estratégias.

Estratégia	Cria	Recria	Recria II	Engorda	Matrizes	Touros
Sistema Extensivo	2%	25%	22%	8%	41%	2%
Semiconfinamento	5%	27%	-	15%	51%	2%
Confinamento	6%	30%	-	6%	57%	2%
ILP	5%	33%	-	11%	49%	2%

É possível perceber que, apesar de a relação touros/matrizes ter diminuído nas Estratégias mais intensivas, isso não impactou a participação dos touros nas emissões animais nessas estratégias, sendo a menos relevante em todas.

As emissões animais da categoria matrizes representaram a maior parcela do montante de emissões nas estratégias mais intensivas. Já a fase de cria registrou a segunda menor participação em todas as estratégias. A recria foi a fase mais representativa na estratégia Sistema Extensivo, enquanto que nas demais estratégias, a participação da recria foi menor. Por último, a engorda, correspondeu a uma parcela pequena das emissões animais em todas as estratégias.

5.1.5.2 Soja e milho safrinha

Nesta seção, a participação de cada fonte de emissão associada à produção de soja e milho safrinha, tanto para ração como para venda, é apresentada. Vale destacar que, como todas as estratégias intensivas tiveram a mesma produtividade de soja e milho, utilizaram a mesma quantidade de fertilizantes e corretivos e realizaram as mesmas operações agrícolas, a contribuição de cada fonte de emissão é idêntica entre as estratégias.

No presente trabalho, como indicado na Figura 17, as emissões de resíduos agrícolas foram as mais representativas na produção de soja, englobando 47% do montante de emissões dessa cultura. Em seguida, as fontes predominantes foram, em ordem decrescente: calagem (33%), combustão móvel devido à utilização de diesel na maquinaria agrícola (14%), produção de superfosfato simples (2%), produção de cloreto de potássio (2%), produção de diesel (2%) e produção de calcário (1%).

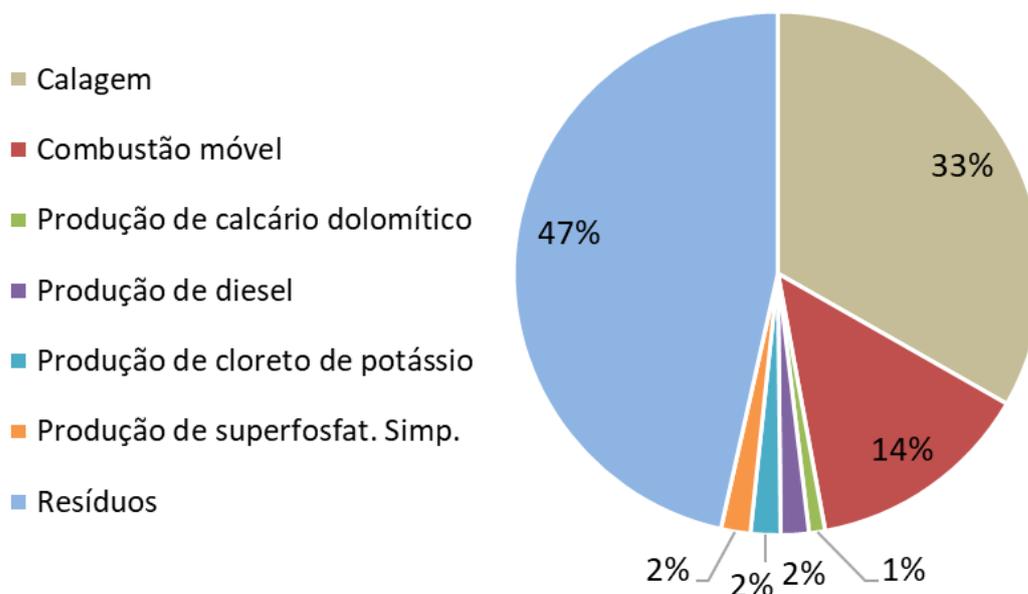


Figura 17: Participação das fontes de emissão associadas à produção de soja.

Diferentemente da soja, onde não houve emissões de ureia ou produção de ureia devido à pouca demanda de nitrogênio por parte dessa cultura, pois se trata de uma fixadora biológica natural de nitrogênio por meio de rizóbios, no caso do milho as emissões relacionadas à aplicação da ureia foram as mais significativas, respondendo por 37% do total de emissões, conforme indicado na Figura 18. A essa fonte, seguiram-se: resíduos agrícolas (21%), calagem (18%), produção de ureia (14%), combustão móvel

(8%), produção de superfosfato simples (1%), produção de diesel (1%), produção de cloreto de potássio (1%) e produção de calcário (1%).

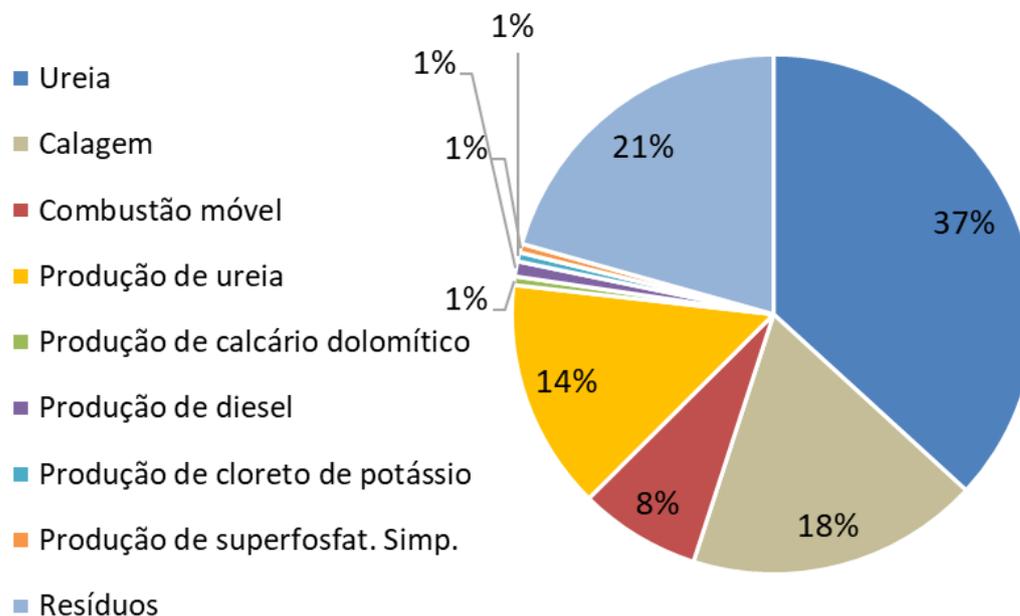


Figura 18: Participação das fontes de emissão associadas à produção de milho safrinha.

5.2 Análise financeira

Nesta seção são apresentados os fluxos de caixa das estratégias nas três escalas de produção, seus respectivos indicadores financeiros e os custos de abatimento das estratégias intensivas em relação à estratégia Sistema Extensivo.

5.2.1 Fluxos de caixa

Os fluxos de caixa de todas as estratégias tiveram 20 anos de duração, sendo o ano 0 o de implantação e os anos 1-19 de manutenção da pastagem, conforme indicado na Figura 19. A estratégia Sistema Extensivo foi a que produziu menos retorno anual, em oposição à estratégia ILP, que foi a mais atrativa. Já a estratégia Confinamento foi a de maior investimento inicial, seguida, em ordem decrescente, pelas estratégias ILP e Semiconfinamento.



Figura 19: Fluxos de caixa das estratégias agropecuárias em três escalas de produção.

5.2.2 Indicadores financeiros

Abaixo, cada uma das subseções deste capítulo se concentra em indicar os resultados de um indicador financeiro.

5.2.2.1 Receita anualizada

As receitas anualizadas são apresentadas para cada produto comercializado e para a estratégia como um todo.

Conforme apresentado na Tabela 30, a estratégia Sistema Extensivo obteve a menor receita com a venda de gado, seguida, em ordem crescente, pelas estratégias: ILP, Semiconfinamento e Confinamento.

A receita com a venda do gado por hectare foi idêntica em todas as escalas de produção de uma mesma estratégia, pois a lotação do gado não varia conforme a escala. Já a receita com a venda de gado por arroba foi idêntica em todas as estratégias e escalas de produção pois a primeira é diretamente relacionada à segunda.

Tabela 30: Receitas anualizadas da produção de gado.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	328.066	1.112.302	1.291.290	767.916
	R\$/ha	819	2.779	3.229	2.744
	R\$/@	237	237	237	237
Média	R\$	1.802.683	6.114.586	7.095.946	4.223.537
	R\$/ha	819	2.779	3.229	2.744
	R\$/@	237	237	237	237
Larga	R\$	3.277.972	11.113.797	12.903.676	7.679.158
	R\$/ha	819	2.778	3.229	2.744
	R\$/@	237	237	237	237

De acordo com a Tabela 31, a receita com a venda de soja por hectare foi idêntica em todas as estratégias e escalas de produção. Isso ocorre porque a produtividade da soja não sofreu alteração entre as estratégias.

Tabela 31: Receita anualizada da produção da soja comercializada.

Escala	Indicador financeiro	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	-	38.001	145.964	783.684
	R\$/ha	-	6.358	6.358	6.358
Média	R\$	-	208.902	802.108	4.310.263
	R\$/ha	-	6.358	6.358	6.358
Larga	R\$	-	430.275	1.458.599	7.836.841
	R\$/ha	-	6.358	6.358	6.358

A estratégia ILP foi a única a produzir milho para venda, conforme apresentado na Tabela 32. Nesse caso, as receitas da venda desse grão foram menores do que as da soja.

Tabela 32: Receita anualizada da produção do milho comercializado.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	-	-	-	366.981
	R\$/ha	-	-	-	3.055
Média	R\$	-	-	-	2.018.393
	R\$/ha	-	-	-	3.055
Larga	R\$	-	-	-	3.669.805
	R\$/ha	-	-	-	3.055

Apesar de ter tido uma receita de gado inferior àquela obtida em outras estratégias intensivas, a estratégia ILP resultou em uma receita total superior à de todas as demais, nas três escalas de produção. De acordo com a Tabela 33, as estratégias, em ordem crescente de receita total, foram: Sistema Extensivo, Semiconfinamento, Confinamento e ILP.

Tabela 33: Receita anualizada total das estratégias desenvolvidas.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	328.066	1.150.303	1.437.254	1.918.580
	R\$/ha	819	2.874	3.591	4.796
Média	R\$	1.802.683	6.323.488	7.898.054	10.552.193
	R\$/ha	819	2.874	3.591	4.796
Larga	R\$	3.277.972	11.544.072	14.362.275	19.185.805
	R\$/ha	819	R\$ 2.886	3.591	4.796

5.2.2.2 Custo anualizado

Diferentemente da receita anualizada, o custo anualizado é apresentado apenas para a produção total das estratégias, não sendo discriminado por produto. Isso ocorreu devido

à maior complexidade na alocação de certos custos que incidem sobre toda a propriedade, como o de cercamento, o de ITR, entre outros.

A Tabela 34 apresenta os custos anualizados de toda a produção. Vale ressaltar que esses valores indicados na Tabela 34 são todos negativos. As estratégias com os maiores custos totais foram, em ordem crescente: Sistema Extensivo, Semiconfinamento, Confinamento e ILP. Igualmente, o custo anualizado decresceu em todas as estratégias conforme a escala de produção aumentou.

Tabela 34: Custos anualizados totais.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	326.588	1.171.342	1.486.547	1.582.682
	R\$/ha	816	2.926	3.714	3.957
Média	R\$	1.457.613	5.585.648	6.396.536	7.767.575
	R\$/ha	663	2.538	2.908	3.531
Larga	R\$	2.351.009	9.888.330	11.385.919	13.754.627
	R\$/ha	588	2.472	2.847	3.439

5.2.2.3 Lucro anualizado

Como o custo anualizado não foi discriminado por produto, o lucro anualizado também é apresentado considerando a produção total de cada estratégia.

A Tabela 35 apresenta os lucros anualizados totais das estratégias. Na pequena escala de produção, a estratégia de menor lucro foi a Confinamento, seguida pela Semiconfinamento, Sistema Extensivo e ILP, sendo essas duas últimas as únicas que obtiveram lucro positivo.

Já na média e na larga escala de produção, o lucro total de todas as estratégias foi positivo. Nessas duas escalas, a estratégia Sistema Extensivo foi a de menor lucro total, seguida pela Semiconfinamento, Confinamento e ILP. De forma similar a outros indicadores, o lucro total cresceu conforme a escala de produção aumentou.

Tabela 35: Lucros anualizados das estratégias desenvolvidas.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	1.478	-21.039	-49.293	335.899
	R\$/ha	4	-53	-123	840
Média	R\$	345.070	737.840	1.501.517	2.784.618
	R\$/ha	157	335	683	1.266
Larga	R\$	926.963	1.655.742	2.976.356	5.431.177
	R\$/ha	232	414	744	1.358

5.2.2.4 Margem líquida

As margens líquidas totais, apresentadas na Tabela 36, foram negativas para todas as estratégias na pequena escala de produção, com exceção da ILP e da Sistema Extensivo. Houve aumento da margem líquida total em todas as estratégias conforme se aumentou a escala de produção, sendo que esses valores se tornam positivos a partir da média escala.

As estratégias de maior margem líquida total na pequena escala de produção foram, em ordem crescente: Sistema Extensivo, Confinamento, Semiconfinamento e ILP. Para a média escala, elas foram, também em ordem crescente: Sistema Extensivo, Semiconfinamento, Confinamento e ILP. Por último, para a larga escala de produção as estratégias de maiores margens líquidas, igualmente em ordem crescente, foram: Semiconfinamento, Confinamento, Sistema Extensivo e ILP.

Tabela 36: Margem líquida total.

Escala	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	0,5%	-2%	-3%	18%
Média	19%	12%	19%	26%
Larga	28%	14%	21%	28%

5.2.2.5 Custo de formação de pastagem

O custo de formação de pastagem, indicado na Tabela 37, foi de dois tipos: a partir de uma pastagem nominal, o que ocorre em todas as estratégias, ou a partir de uma lavoura, que ocorre apenas na estratégia ILP, onde houve rotação entre as áreas de pastagens e lavoura na propriedade. Vale ressaltar que os valores dos custos de formação de pastagem indicados na Tabela 37 são todos negativos.

Quanto ao custo de formação de pastagem a partir de uma pastagem nominal, é possível notar que a estratégia Sistema Extensivo registrou o menor custo em todas as escalas de produção. As três estratégias intensivas apresentaram um custo de formação de pastagem muito próximo. Vale ressaltar ainda que o custo de formação por hectares diminuiu conforme o aumento da escala em todas as estratégias.

No caso da formação de pastagem a partir de lavoura, como esse cenário só ocorre na estratégia ILP, não houve comparação com outras estratégias. Da mesma forma, que o anterior, este custo diminuiu conforme a escala de produção cresce. O custo de formação de pastagem a partir de lavoura na estratégia ILP foi inferior ao custo de formação a partir de pastagem nominal.

Tabela 37: Custos de formação de pastagem nas diferentes escalas e estratégias.

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	784.273	1.258.961	1.226.665	581.867
	R\$/ha	1.959	3.357	3.502	3.496
Média	R\$	3.999.641	6.117.534	5.805.768	2.488.629
	R\$/ha	1.818	2.967	3.017	3.026
Larga	R\$	6.945.169	10.975.419	10.413.737	4.383.156
	R\$/ha	1.736	2.929	2.976	2.973
Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	-	-	-	469.862
	R\$/ha	-	-	-	2.656
Média	R\$	-	-	-	1.872.603
	R\$/ha	-	-	-	2.186
Larga	R\$	-	-	-	3.263.109
	R\$/ha	-	-	-	2.133

5.2.2.6 Valor presente líquido

Na Tabela 38, são indicados os valores presentes líquidos (VPLs) associados à produção de todos os itens comercializados por cada estratégia, considerando uma taxa de desconto de 5%.

Em pequena escala, todas as estratégias, com exceção da ILP e da Sistema Extensivo, apresentaram um VPL negativo, enquanto na média e na larga escalas todos os VPL foram positivos. A estratégia ILP se mostrou a mais lucrativa para o período avaliado, em todas as escalas de produção, seguida pela estratégia Confinamento.

Já a estratégia Semiconfinamento obteve um VPL superior ao da estratégia Sistema Extensivo na média e na larga escala de produção. Esse cenário se inverteu quando essas estratégias foram comparadas na pequena escala: a Sistema Extensivo resultou em um VPL maior que o da Semiconfinamento.

Assim, é possível notar na Tabela 38, que houve um ganho de escala na produção.

Tabela 38: VPL das estratégias desenvolvidas nas três escalas de produção (R\$).

Escala	Unidade	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	R\$	18.422	-262.191	-614.294	4.186.042
Média		4.300.337	9.195.111	18.712.224	34.702.496
Larga		11.552.005	20.634.210	37.091.971	67.684.476

5.2.2.7 Taxa interna de retorno

De acordo com a Tabela 39, é possível notar que houve um aumento da taxa interna de retorno (TIR) com o ganho de escala, assim como no caso do VPL.

A estratégia ILP tiveram as maiores TIRs em todas as escalas de produção para o período avaliado, seguida pela estratégia Sistema Extensivo.

Tabela 39: TIR das estratégias desenvolvidas nas três escalas de produção.

Escala	Sistema Extensivo	Semiconfinamento	Confinamento	ILP
Pequena	5%	4%	3%	23%
Média	21%	15%	20%	38%
Larga	30%	18%	23%	44%

5.3 Custos de abatimento

O custo de abatimento médio em reais (R\$/t CO₂e) e dólares americanos (US\$/t CO₂e)³ a partir das emissões totais (t CO₂e) de cada estratégia intensiva são indicados na Tabela 40 e na Tabela 41, respectivamente, de acordo com a escala de produção e a contabilização ou não do carbono orgânico no solo.

³ Taxa de câmbio de R\$5,15.

Tabela 40: Custo de abatimento médio (R\$/t CO₂e) das estratégias intensivas de acordo com a escala de produção e a consideração de carbono orgânico no solo (COS).

Escala de produção	Estratégias	Custo de abatimento s/ COS (R\$/t CO₂e)	Custo de abatimento c/ COS (R\$/t CO₂e)
Pequena	Semiconfinamento	R\$ 22	R\$ 18
	Confinamento	R\$ 44	R\$ 39
	ILP	-R\$ 334	-R\$ 290
Média	Semiconfinamento	-R\$ 69	-R\$ 58
	Confinamento	-R\$ 181	-R\$ 160
	ILP	-R\$ 443	-R\$ 384
Larga	Semiconfinamento	-R\$ 71	-R\$ 59
	Confinamento	-R\$ 177	-R\$ 156
	ILP	-R\$ 449	-R\$ 390

Tabela 41: Custo de abatimento médio (US\$/t CO₂e) das estratégias intensivas de acordo com a escala de produção e a consideração de carbono orgânico no solo (COS).

Escala de produção	Estratégias	Custo de abatimento s/ COS (US\$/t CO₂e)	Custo de abatimento c/ COS (US\$/t CO₂e)
Pequena	Semiconfinamento	\$4,26	\$3,55
	Confinamento	\$8,50	\$7,49
	ILP	-\$64,84	-\$56,30
Média	Semiconfinamento	-\$13,48	-\$11,26
	Confinamento	-\$35,17	-\$30,99
	ILP	-\$85,97	-\$74,64
Larga	Semiconfinamento	-\$13,75	-\$11,48
	Confinamento	-\$34,27	-\$30,20
	ILP	-\$87,28	-\$75,78

O custo de abatimento de todas as estratégias intensivas na média e na larga escala foi negativo. Na pequena escala, a estratégia Confinamento foi a mais custosa, seguida pela Semiconfinamento e pela ILP, que foi a única a apresentar um custo de abatimento negativo nessa escala. As estratégias ILP e Confinamento foram, respectivamente, as de menor e maior custo de abatimento na média e na larga escala de produção, com ou sem COS. A média escala de produção foi a que apresentou o menor custo de abatimento em todas as estratégias. A Figura 20 ilustra as diferenças entre os custos de abatimento médios de cada estratégia (R\$/t CO₂e) por escala de produção e inclusão ou não de COS.

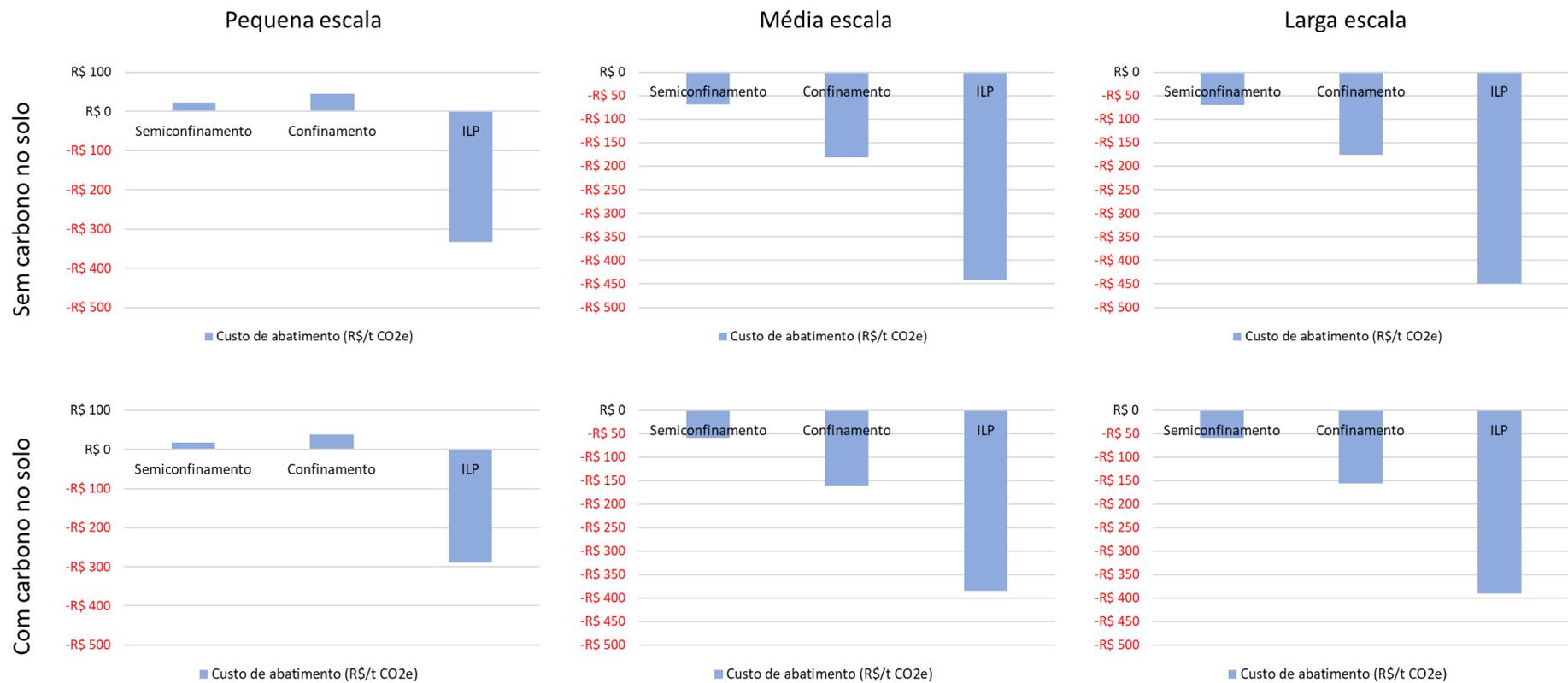


Figura 20: Custos de abatimento médios das estratégias intensivas nas três escalas de produção, considerando ou não o carbono orgânico no solo (COS).

5.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade indicou que a variação de $\pm 15\%$ dos parâmetros financeiros foi responsável por alterações superiores nos custos de abatimento do que a nos parâmetros de emissões de GEE. Já quando aplicada a estes últimos, a análise de sensibilidade indicou que as alterações no parâmetro EF_{CH_4} foram as que mais impactaram os valores das pegadas de GEE e do custo de abatimento, com exceção da estratégia ILP. No caso dessa estratégia, com COS, esse parâmetro ficou atrás do F_I .

Os resultados detalhados da análise de sensibilidade com os parâmetros relacionados às emissões de GEE e os financeiros estão indicados no Anexo V.

Semiconfinamento

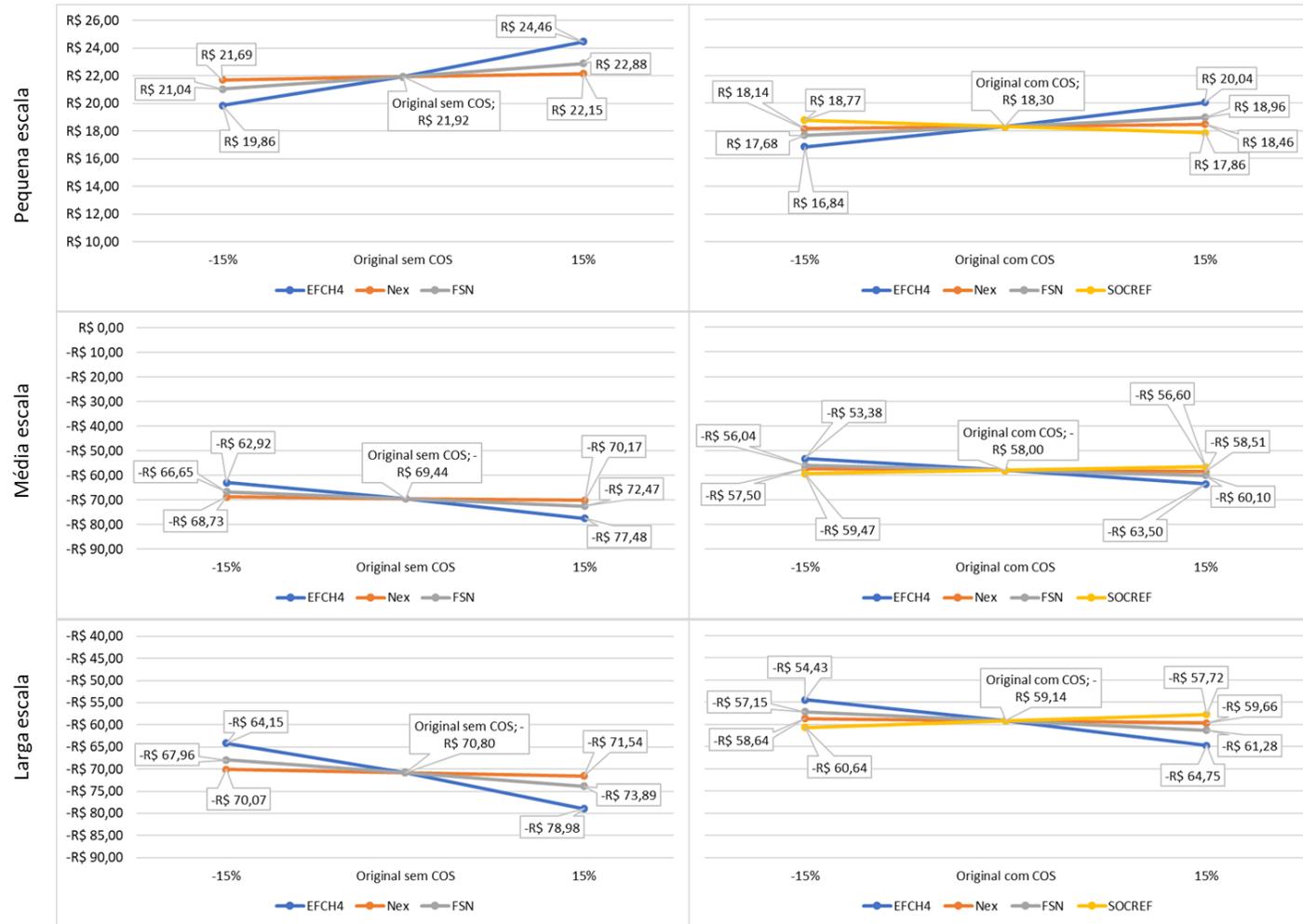


Figura 21: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia Semiconfinamento.

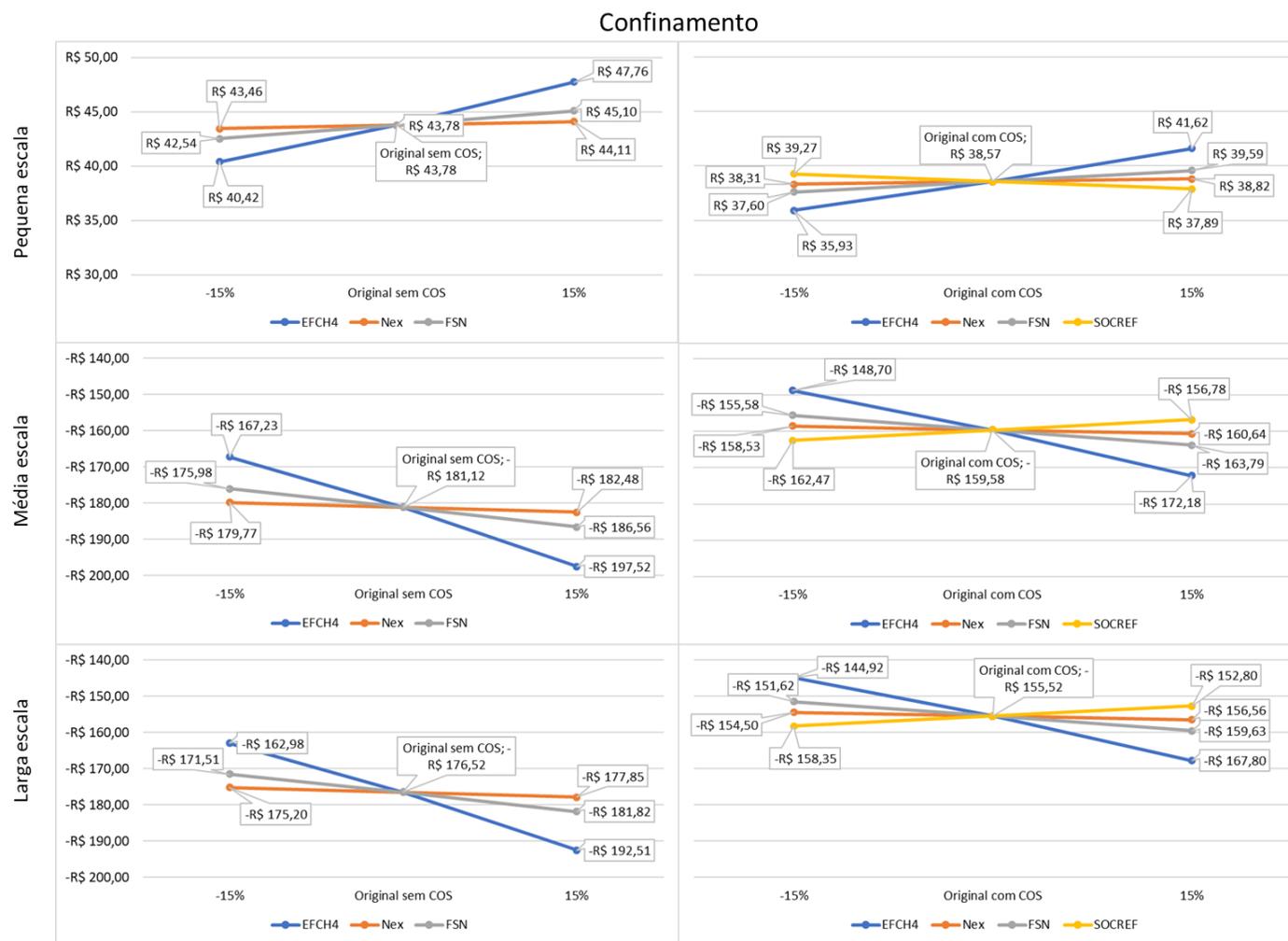


Figura 22: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia Confinamento.

ILP

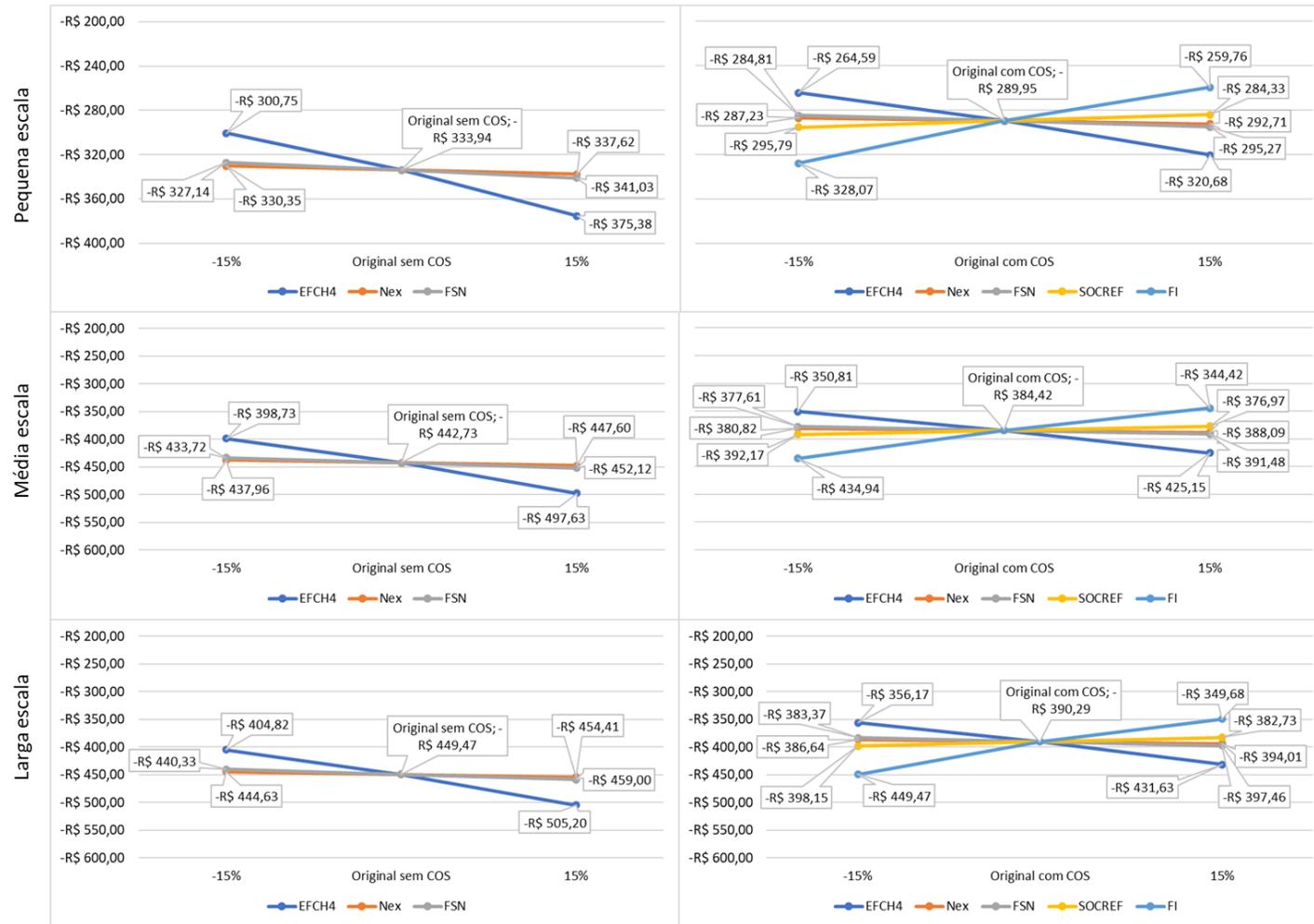


Figura 23: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros relacionados às emissões de GEE na estratégia ILP.

Semiconfinamento



Figura 24: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Semiconfinamento.

Confinamento

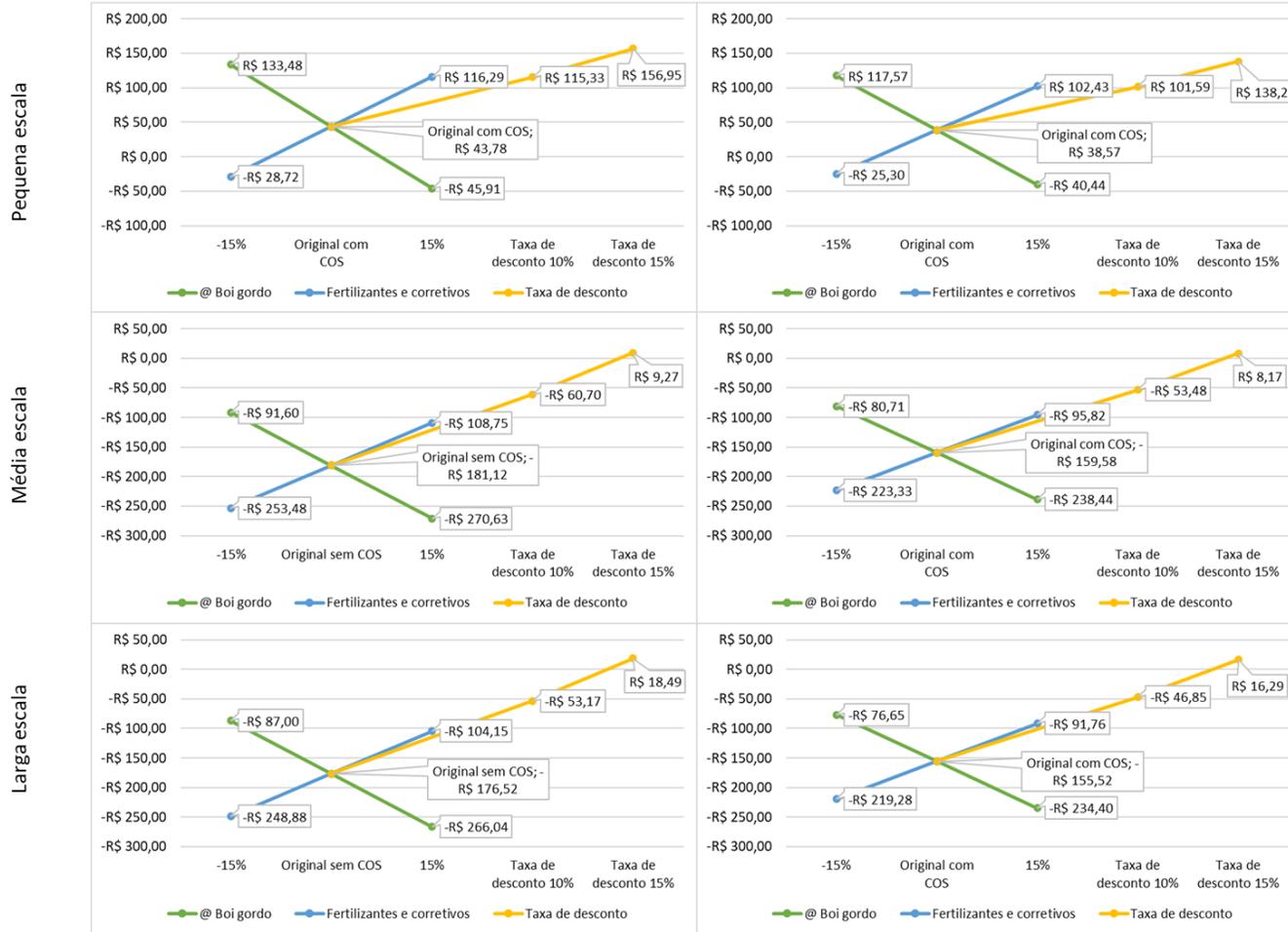


Figura 25: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Confinamento.

ILP

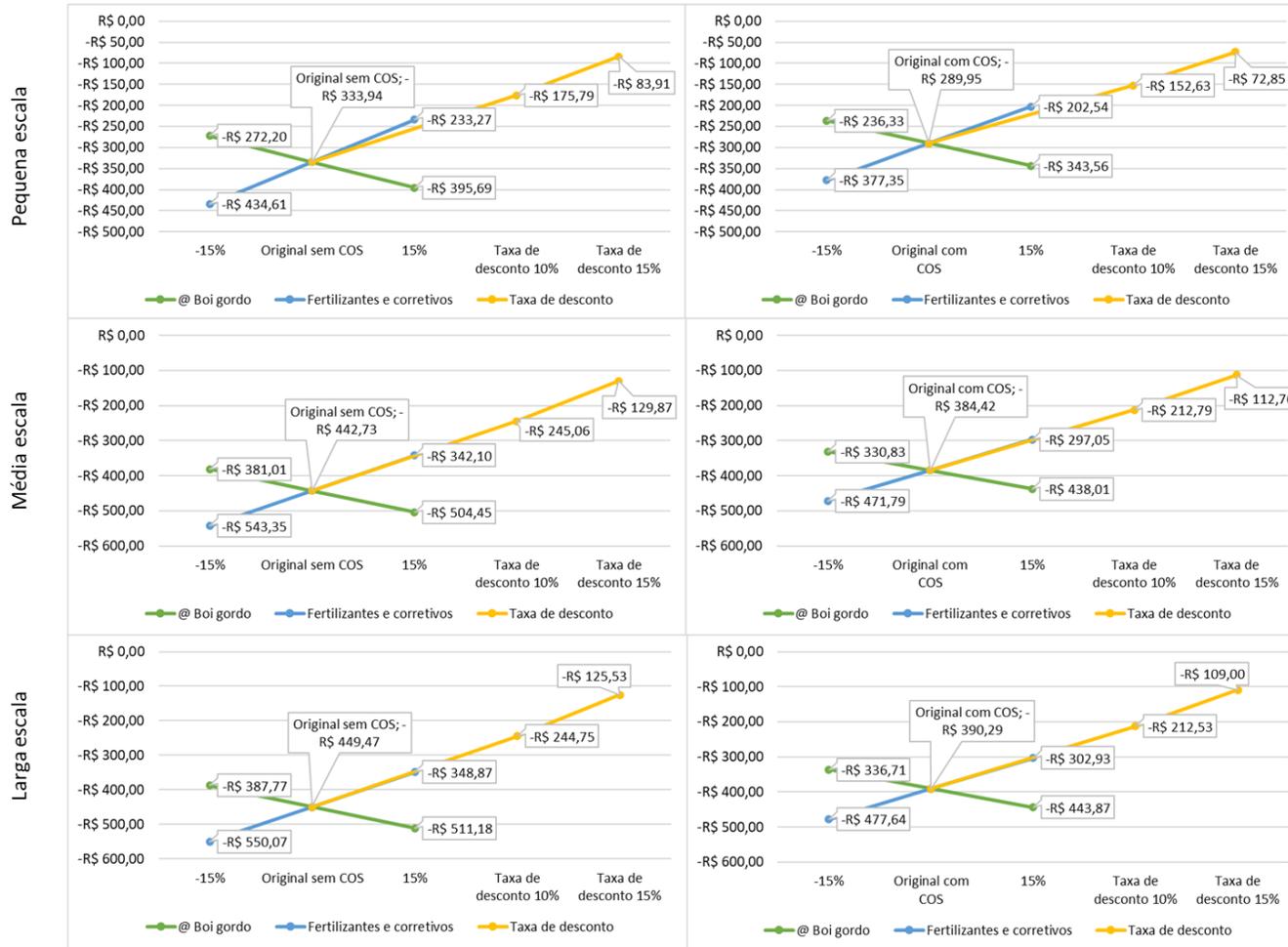


Figura 26: Ilustração dos resultados da análise de sensibilidade aplicada aos parâmetros financeiros na estratégia Semiconfinamento.

7. Discussão dos resultados

Nesta seção, os resultados apresentados na seção 1, são revisitados e comparados entre si e com outros trabalhos similares.

6.1 Produtividade e uso do solo

A produtividade do gado em arrobas por hectare (@/ha) estimada neste trabalho foi inferior na estratégia Sistema Extensivo, 3,5 @/ha, conforme já era esperado. De acordo com a Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC), a produtividade média das pastagens brasileiras durante o ano de 2020 foi de 4,2 @/ha, sendo um pouco superior à obtida neste trabalho para Sistema Extensivo. Já segundo o IMEA, a produtividade em 2020 para sistemas de ciclo completo no Mato Grosso foi de 4,93 @/ha, ou seja, acima da média nacional para o mesmo período (IMEA, 2022a). As médias obtidas pela ABIEC e pelo IMEA foram fruto de diferentes sistemas de produção, incluindo sistemas intensivos, e não só os extensivos (ABIEC, 2021; IMEA, 2022a).

As estratégias Semiconfinamento e ILP apareceram empatadas com aproximadamente 12 @/ha, uma produtividade média aproximadamente três vezes e duas vezes e meia maior que a relatada pela ABIEC para o Brasil em 2020 (ABIEC, 2021) e pelo IMEA para o Mato Grosso, respectivamente (IMEA, 2022a). A produtividade dessas estratégias foi de quase quatro vezes maior que a da estratégia Sistema Extensivo.

A estratégia de maior produtividade foi a Confinamento, com aproximadamente 14 @/ha, ou seja, em torno de quatro vezes maior que a da ABIEC (ABIEC, 2021), três vezes e meia maior que a do IMEA (IMEA, 2022a) e quatro vezes e meia maior que a do Sistema Extensivo neste trabalho. A economia de área gerada pelo confinamento na fase de engorda e o maior rendimento da carcaça nessa estratégia explicam a produtividade superior. A produtividade estimada para a estratégia confinamento foi ainda similar à que Cardoso *et al.* (2016) obtiveram no seu Cenário V, de 14 @/ha, que envolveu o confinamento à pasto do gado de engorda, estratégia intermediária entre o semiconfinamento e confinamento tradicional (CARDOSO *et al.*, 2016).

Quanto à exigência de área para produzir uma unidade funcional indicada (ver na Tabela 22), é possível notar que a estratégia Sistema Extensivo foi aquela a requerer a

maior porção de área, o que está de acordo com o esperado, já que esta foi a estratégia com a menor lotação e o maior período de tempo para o abate.

As estratégias Semiconfinamento e Confinamento registraram exigências de área praticamente idênticas: 57 e 49 m²/ kg de carcaça, respectivamente. Esses valores foram de aproximadamente três vezes menores que o da estratégia Sistema Extensivo. A menor área necessária para produzir a mesma unidade funcional nessas estratégias é consequência do maior investimento em fertilização e correção do solo, assim como outras práticas de manejo, que resultam em uma maior lotação e um aproveitamento superior da carcaça.

Quanto à estratégia Confinamento, esta foi a que exigiu a menor quantidade de terra para se produzir a mesma unidade funcional. O confinamento na fase de engorda permite uma economia de área nessa fase de produção (CARDOSO, 2000; ROSA; NOGUEIRA; TORRES JR., 2004; GOMES *et al.*, 2015), pois a taxa de lotação no confinamento foi maior do que das outras fases de produção, sendo de 500 UA/ha. Ademais, como mencionado anteriormente, o rendimento de carcaça nessa estratégia foi superior ao das outras duas estratégias intensivas, o que também contribuiu para a redução da quantidade de área necessária para produzir 1 kg de carcaça.

Esses resultados corroboram com trabalhos anteriores, que destacam a intensificação da pecuária como forma de aumentar a produtividade dos sistemas e economizar terras, o efeito poupa-terra (COHN *et al.*, 2014; RUVIARO *et al.*, 2015; MAZZETTO *et al.*, 2015; CARDOSO *et al.*, 2016; FLORINDO *et al.*, 2017; GERSSEN-GONDELACH *et al.*, 2017; SAKAMOTO *et al.*, 2020).

6.2 Carbono orgânico no solo

Os fatores de mudança de solo da estratégia ILP foram iguais às das demais estratégias, conforme indicado na Tabela 14 e na Tabela 15, o que, a princípio, deveria resultar em taxa idênticas de acúmulo de COS. No entanto, isso não foi observado.

Tal resultado foi consequência do emprego da abordagem *Tier 1*. Ela assume que “(i) com o tempo, o estoque de C orgânico do solo atinge um valor médio espacialmente estável, específico para o solo, clima, práticas de uso e gestão da terra; e (ii) A mudança no estoque de C orgânico do solo durante a transição para um novo SOC de equilíbrio ocorre de forma linear durante um período de 20 anos” (IPCC, 2019).

Assim, ao fim de 20 anos, uma dada área de pastagem ou lavoura atingiria uma quantidade de COS adequada para o seu tipo de uso de solo e manejo, independente do uso de solo anterior. A implicação disto é que, quanto maior a diferença de COS entre o uso de solo prévio e o atual, maior teria que ser a taxa de acúmulo ou liberação de COS no período de transição entre um uso de solo e outro, 20 anos.

No caso da estratégia ILP, a transição da lavoura para pastagem melhorada em alguns períodos de tempo e parcelas de terra, elevou a taxa de acúmulo de COS dessa estratégia, mesmo sem mudança nos fatores de estoque. Isso resultou na redução em 28% da pegada de GEE da estratégia ILP com COS em relação à sem COS, a maior diminuição observada entre as estratégias.

Ainda comparando os cenários com e sem contabilização de COS, a estratégia Semiconfinamento obteve uma redução superior de sua pegada de GEE (aproximadamente 18%) quando comparada à Confinamento (aproximadamente 16%). Isso se deve ao fato de a primeira estratégia ter mais área de pastagem que a segunda, já que o confinamento reduziu a área ocupada pelo gado em engorda e também pressionou a propriedade a dedicar uma parcela maior de suas áreas ao cultivo de concentrados e volumosos para a nutrição do gado confinado. Dessa maneira, a maior área de pastagem ocupada pelo gado na estratégia Semiconfinamento possibilitou uma maior redução da pegada de GEE quando COS é considerado.

Quando as estratégias intensivas foram comparadas à Sistema Extensivo, aquelas que obtiveram a maior redução de pegada de GEE, sem contabilização de COS, foram, em ordem decrescente, as estratégias ILP, Confinamento e Semiconfinamento. Vale ressaltar que, nesse cenário sem COS, a diferença da redução entre a ILP e a Confinamento foi extremamente pequena, em torno de 1%. A diminuição do tempo para o abate e a nutrição com maior digestibilidade foram as principais causas desse resultado, especialmente para a estratégia Confinamento.

Em relação às estratégias ILP e Semiconfinamento, a primeira fez uso de uma quantidade menor de fertilizantes nitrogenados no ano de implantação de uma pastagem onde antes havia lavoura e nos dois anos seguintes de manutenção dela. Adicionalmente, a estratégia ILP conseguiu reduzir também a frequência de algumas operações agrícolas, o que impactou no decréscimo das emissões de combustão móvel.

Além disso, o GMD durante a recria na estratégia Semiconfinamento foi levemente inferior ao da ILP, o que fez com o que o tempo para o abate na primeira fosse maior que na segunda. Esses fatores explicam o porquê de a redução da pegada de GEE sem COS da estratégia ILP ter sido superior à da Semiconfinamento quando ambas foram comparadas à pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo.

6.3 Emissões de GEE do gado

Nesta seção são explorados os resultados quantitativos das emissões absolutas do gado nas diferentes estratégias desenvolvidas.

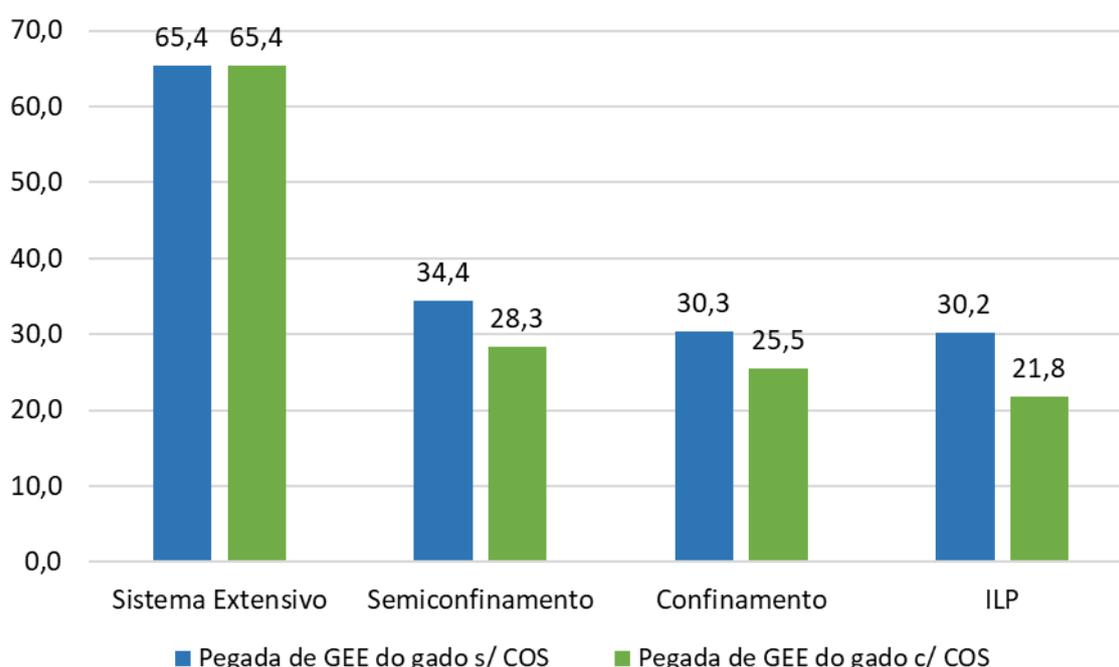


Figura 27: Comparação entre as pegadas de GEE de diferentes estratégias, com e sem COS.

Conforme indicado na seção 5.1.2 e na Figura 27, a estratégia Sistema Extensivo obteve a maior pegada de GEE (65,4 kg CO₂e/kg de carcaça), com e sem contabilização de COS. Este resultado está de acordo com outros trabalhos que também avaliaram a pegada de GEE do gado de corte em sistemas extensivos do Brasil, embora ligeiramente mais elevado (CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; FIGUEIREDO *et al.*, 2017; CARDOSO *et al.*, 2016), com exceção de Florindo *et al.* (2017) e Ruviaro *et al.*, (2015).

Cederberg, Meyer e Flysjö (2009) avaliaram uma pegada de GEE média no Brasil, desconsiderando MUT, de 28 kg CO₂e/kg de carcaça, resultado significativamente inferior ao obtido no presente trabalho. Esse contraste pode ser atribuído ao fato de os

autores terem calculado as emissões de fermentação entérica e resíduos animais utilizando fatores de emissão *Tier I* (IPCC, 2006), que são consideravelmente mais baixos do que os empregados neste trabalho (CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009). Ademais, as categorias animais adotadas pelos autores e usadas para dividir a população brasileira de bovinos de corte não corresponderam às deste trabalho. Quando se tentou comparar as categorias dos dois estudos, as proporções de animais em cada categoria também se mostraram consideravelmente diferentes (CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009).

Em de Figueiredo *et al.* (2017), nenhum dos três sistemas desenvolvidos pelos autores (pastagem degradada, pastagem manejada e ILPF) pôde ser satisfatoriamente comparado com a estratégia Sistema Extensivo, que está mais próxima de ser uma pastagem nominal do que uma significativamente degradada, já que fez uso mínimo de fertilizantes e corretivos. Entretanto, a estratégia Sistema Extensivo carece de manejo adequado, o que se refletiu na maior quantidade de meses para o abate dos bovinos. Sendo assim, a estratégia Sistema Extensivo possui aspectos comuns tanto à pastagem degradada como à pastagem manejada de Figueiredo *et al.* (2017).

Para a pastagem degradada, os autores obtiveram uma pegada de GEE de 18,5 kg CO₂e/kg de peso vivo, desconsiderando o COS; enquanto para a pastagem melhorada o resultado foi 9,4 kg CO₂e/kg de peso vivo, igualmente sem contabilizar o COS (FIGUEIREDO *et al.*, 2017). Esses resultados, quando convertidos para carcaça, foram de aproximadamente 27,8 e 14,2 kg CO₂e/kg de carcaça, respectivamente. Ambos os resultados foram substancialmente menores do que a pegada de GEE do presente trabalho para a estratégia Sistema Extensivo e as de sistemas extensivos em outros estudos (RUVIARO *et al.*, 2015; FLORINDO *et al.*, 2014; CARDOSO *et al.*, 2016; CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009).

A discrepância entre a pegada de GEE da Estratégia Sistema Extensivo e as da pastagem degradada e manejada de Figueiredo *et al.* (2017) aparentou ser principalmente devido aos fatores de emissão inferiores utilizados pelos autores para calcular as emissões de fermentação entérica: 56 e 52 kg CH₄/animal/ano, respectivamente. Além disso, no caso da pastagem manejada, os autores consideraram um elevado GMD (616 g/dia) para todos os animais do sistema, o que possivelmente proporcionou uma terminação mais rápida, diminuindo as emissões de GEE.

Já Cardoso *et al.* (2016) encontraram uma pegada de GEE de aproximadamente 58,3 kg CO₂e/kg de carcaça animal utilizando o método *Tier II* (IPCC, 2006) para sistemas extensivos degradados. O valor foi um pouco menor do que o encontrado neste trabalho, ainda que próximo, o que pode ser explicado de algumas maneiras. Primeiro, os autores utilizaram GWPs do AR4 (IPCC, 2007). Em segundo lugar, o sistema extensivo de Cardoso *et al.* (2016) tinha valores inferiores de: taxa de lotação (0,5 UA/ha) e taxa de natalidade (55%), além de ser considerado extremamente degradado. Dessa maneira, poderia se esperar que o sistema extensivo dos autores tivesse uma pegada de GEE superior à deste trabalho, o que ocorre se analisarmos somente as emissões de metano da fermentação entérica. Entretanto, a ausência de adubação, correção do solo e contabilização de emissões à montante ou de combustão móvel em Cardoso *et al.* (2016) acabaram por fazer com que a pegada de GEE da pastagem extensiva seja menor do que a deste estudo (CARDOSO *et al.*, 2016).

No sistema desenvolvido por Florindo *et al.* (2017), o gado levou 36 meses para alcançar o peso de abate no seu sistema mais extensivo, 6 meses a mais do que neste trabalho, na estratégia Sistema Extensivo, com uma lotação um pouco maior, de aproximadamente 1 UA/ha. Florindo *et al.* (2017) consideraram que apenas o pasto de engorda foi fertilizado, diferente deste trabalho. Florindo *et al.* (2017) obtiveram uma pegada de GEE de 31,2 kg CO₂e/kg de peso vivo para seu sistema mais extensivo, ou aproximadamente 47,4 kg CO₂e/kg de carcaça, um valor próximo e coerente com o obtido neste estudo para a estratégia Sistema Extensivo, ainda que inferior.

Ruviaro *et al.* (2015) encontraram uma pegada de GEE 42,6 kg CO₂e/kg de peso vivo para sistemas extensivos de pastagens nativas no sul do Brasil envolvendo gado da raça Aberdeen Angus. O resultado correspondeu à aproximadamente 64,7 kg CO₂e/kg de carcaça. Esse estudo foi o que mais se aproximou do resultado deste trabalho. Apesar disso, os autores não consideraram o uso de fertilizantes ou corretivos na pastagem, o que teria elevado ainda mais suas emissões (RUVIARO *et al.*, 2015). É possível que a raça do gado, o tempo de produção e a produtividade do sistema (@/ha) tenham influenciado a assimetria entre a pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo e de Ruviaro *et al.* (2015).

Dessa maneira, a pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo se mostrou compatível com a amplitude de valores obtidos para essa métrica em outros estudos que também estimaram emissões de GEE em sistemas extensivos no Brasil (RUVIARO *et*

al., 2014; FLORINDO *et al.*, 2014; CARDOSO *et al.*, 2016; FIGUEIREDO *et al.*, 2017; CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009). Dentre os estudos de contabilização de emissões de gado de corte em sistemas extensivos brasileiros analisados neste trabalho, apenas Figueiredo *et al.* (2017) consideraram o COS em seus cálculos. Nesse estudo, a pegada de GEE na pastagem degradada foi a mesma com ou sem a contabilização de carbono (FIGUEIREDO *et al.*, 2017).

Ao contabilizar-se o COS no presente trabalho, a pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo não se modificou: continuou sendo de 65,4 kg CO₂e/kg de carcaça. Conforme explicado anteriormente, esse cálculo levou em consideração os parâmetros estabelecidos pelo IPCC (2019) para pastagens. No caso, como a estratégia Sistema Extensivo é uma pastagem nominal, não houve mudança no carbono armazenado no solo em comparação com o uso de solo anterior, que também é pastagem nominal.

Quanto às demais estratégias intensivas, conforme já apresentado na seção 5.1.2 e na Figura 27, as pegadas de GEE foram consideravelmente inferiores à da Sistema Extensivo, principalmente quando se contabilizou o COS. Esse resultado corroborou com os estudos anteriormente citados, que também registraram pegadas de carbono menores para sistemas mais intensivos (CEDEBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; FIGUEIREDO *et al.*, 2017; CARDOSO *et al.*, 2016; FLORINDO *et al.*, 2017; RUVIARO *et al.*, 2015).

Em Cardoso *et al.* (2016), os autores encontraram pegadas de carbono decrescentes em relação à pastagem degradada (cenário 1) conforme o grau de intensificação avançava. O cenário 5 dos autores, que também considera terminação em confinamento, conforme similarmente à estratégia Confinamento deste trabalho, registrou uma pegada de GEE de 29,4 kg CO₂e/kg de carcaça, valor bem próximo ao registrado no presente trabalho.

Já em de Figueiredo *et al.* (2017), os cenários de pastagem manejada e ILPF desenhados pelo autor registraram pegadas de GEE de aproximadamente 14,2 e 19 kg CO₂e/kg de carcaça, valores bem inferiores aos encontrados no presente trabalho para as estratégias de Semiconfinamento e ILP, embora a comparação seja imprecisa, já que ambos guardam diferenças significativas com as estratégias deste acima.

Em Florindo *et al.* (2017), os sistemas de manejo II, III e IV tiveram uma pegada de GEE que variou de aproximadamente 46 kg CO₂e/kg de carcaça à 25 kg CO₂e/kg de carcaça, sendo assim condizentes com os valores obtidos neste trabalho para estratégias intensivas. Por último, em Ruviaro *et al.* (2015), o cenário de pastagem bem manejada

alcançou uma pegada de GEE de aproximadamente 30,5 kg CO₂e/kg de carcaça, valor muito semelhante ao obtido nas três estratégias intensivas desenvolvidas neste trabalho.

6.4 Emissões de GEE da soja e do milho safrinha

Nesta seção, os resultados obtidos para as pegadas de carbono da soja e do milho comercializados são discutidos e comparados com outros trabalhos similares.

Quanto a pegada de GEE da soja, o valor obtido sem COS se encontra próximo dos de outros estudos (CASTANHEIRA, FREIRE, 2013; RAUCCI *et al.*, 2015; CARDOSO *et al.*, 2016; MIRANDA, 2016; ZORTEA, MACIEL, PASSUELLO, 2018).

Raucci *et al.* (2015) avaliaram as emissões de 55 fazendas produtoras de soja em três anos agrícolas. As pegadas de GEE de cada fazenda variaram de 0,102 à 0,347 kg CO₂e/kg de soja, enquanto que a pegada de GEE média da soja foi de 0,186 kg CO₂e/kg de soja, considerando as 55 fazendas do estudo e todo o período temporal avaliado (RAUCCI *et al.*, 2015).

Já Castanheira e Freire (2013) encontraram uma pegada de GEE de aproximadamente 0,2 kg CO₂e/kg de soja para a soja produzida em plantio direto no Brasil central. Em ambos os casos, a pegada de GEE da soja obtida por esses autores é próxima à deste trabalho, ainda que um pouco inferior (CASTANHEIRA, FREIRE, 2013; RAUCCI *et al.*, 2015).

Cardoso *et al.* (2016) obtiveram uma pegada de GEE da soja muito próxima à deste estudo, 0,232 kg CO₂e/kg de soja, sem considerar COS ou MUT (CARDOSO *et al.*, 2016). No entanto, essa pegada de GEE possivelmente seria menor caso considerasse os valores de GWP do AR6 (IPCC, 2020).

Em Zortea, Maciel e Passuello (2018), os autores obtiveram uma pegada de GEE para a soja cultivada no estado do Rio Grande do Sul de 0,287 kg CO₂e/kg de soja quando desconsiderando COS e MUT, valor superior ao deste trabalho. Ao incluir COS e MUT, a pegada de GEE da cultura elevou-se até 0,734 kg de CO₂e/kg de soja (ZORTEA, MACIEL, PASSUELLO, 2018). Neste trabalho, a pegada de GEE da soja com COS foi ligeiramente inferior àquela sem COS. No entanto, em Zortea, Maciel e Passuello (2018), a pegada de GEE desse grão aumentou consideravelmente com a inclusão de COS. Isso se deve ao fato de que MUT também foi adicionada à pegada de GEE do solo.

Adicionalmente, o trabalho de Miranda (2016) concentrou-se em obter a pegada de GEE da soja produzida no estado do Mato Grosso a partir de informações de 110 fazendas da região. Novamente, o autor encontrou uma pegada de 1,77 e 0,32 kg CO₂e/kg de soja para os cenários com e sem a inclusão de MUT, respectivamente (MIRANDA, 2016). O carbono no solo foi calculado através do método *Tier I*, de menor precisão, que leva em consideração uma subcategoria de uso do solo (FLU), a forma de manejo do solo (FMG) e o uso de corretivos e fertilizantes minerais e orgânicos (FI). Embora o FMG e o FI tenham sido maiores que 1 para o plantio da soja neste trabalho, o baixo valor do FLU foi responsável pelo resultado pouco expressivo de acúmulo de COS.

Quando a mudança de uso de solo foi de pastagem nominal para lavoura de plantio direto, houve uma perda pequena de COS, 0,165 t COS/ha/ano, enquanto que quando transição foi de pastagem melhorada para lavoura de plantio direto a perda foi maior, de 0,488 t COS/ha/ano. Devido a essa perda de carbono orgânico no solo, a pegada de GEE da soja considerando COS aumenta em todas as estratégias em relação à quando essa fonte não é considerada, conforme apresentado na Figura 28. O aumento é ainda maior na estratégia ILP por haver mudança de uso de solo de pastagem melhorada para lavoura.

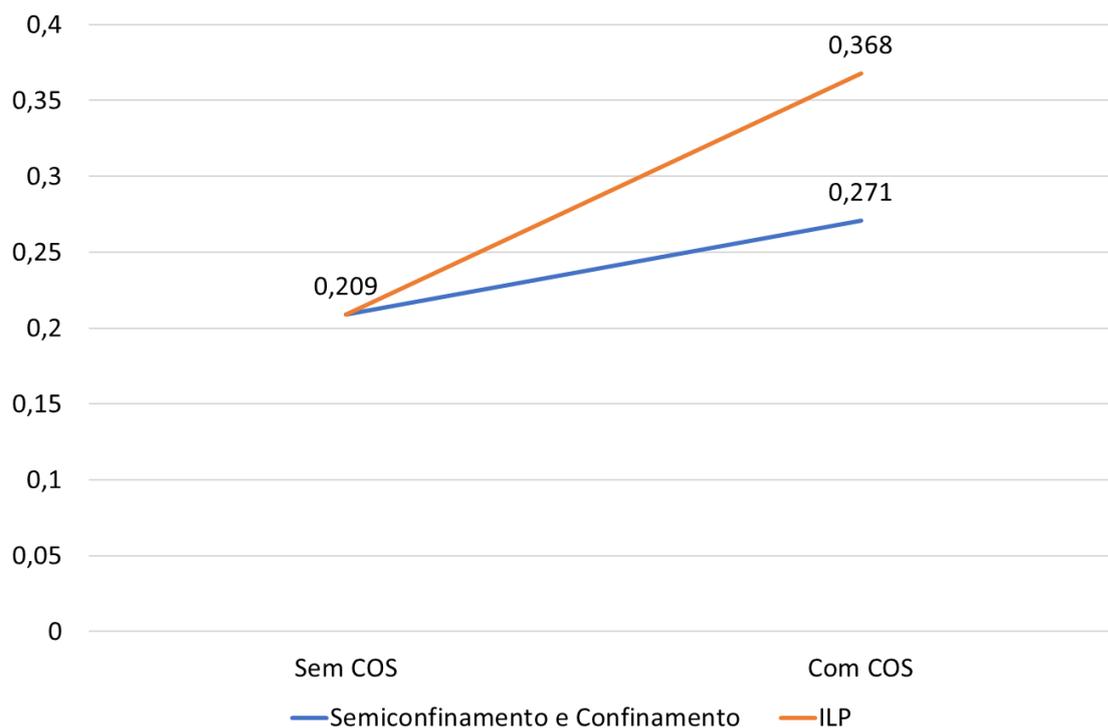


Figura 28: Aumento da pegada de GEE da soja vendida quando COS é considerado. Valores em kg CO₂e/kg de soja.

et alet alet alet al Sendo assim, a pegada de GEE da soja cultivada em plantio direto neste trabalho, sem consideração de COS, se mostrou condizente com trabalhos anteriores, assim como a participação expressiva de emissões de N₂O por resíduos vegetais (CASTANHEIRA, FREIRE, 2013; RAUCCI *et al.*, 2015; MIRANDA, 2016; ZORTEA, MACIEL, PASSUELLO, 2018).

et alet alet alet alTier Quanto à produção de milho safrinha, o cultivo deste em sequência à soja é muito comum na região centro-oeste (CRUZ *et al.*, 2011; CECCON, 2018). Apenas a estratégia ILP registrou uma pegada de GEE para o milho, pois foi a única a comercializar este grão. Sua pegada de GEE sem considerar o COS foi de 0,209 kg CO₂e/kg de milho, valor que se encontra relativamente próximo aos obtidos em outros estudos (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2014; CARDOSO *et al.*, 2016; MIRANDA, 2016; CONSTANTINI; BACENETTI, 2021).

Entre os estudos referenciados neste trabalho, aquele com a pegada de GEE mais elevada foi o de Prudêncio da Silva *et al.* (2014), que computaram 0,81 kg CO₂e/kg de grão de milho. A contabilização de emissões de MUT, defensivos agrícolas e transporte dos grãos de milho à fábrica de processamento de ração foram possivelmente os fatores responsáveis pela pegada de GEE superior (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2014).

Em Cardoso *et al.* (2016), a pegada de GEE do milho foi de 0,296 kg CO₂e/kg de grão de milho, igualmente sem contabilizar COS ou MUT, assim como no caso da soja. A diferença entre a pegada de GEE dos autores e a deste trabalho pode ser devido aos mesmos quantificarem emissões de defensivos agrícolas, utilizarem outros dados de entrada para adubação, correção do solo e consumo de diesel e empregarem GWPs do AR4 (IPCC, 2007; CARDOSO *et al.*, 2016).

Já Miranda (2016) contabilizou a emissão do milho safrinha cultivado na região Centro-Oeste em sequência à soja, encontrando uma pegada de GEE de 0,211 kg CO₂e/kg de grão de milho. Nesse estudo, resíduos agrícolas e fertilizantes também foram responsáveis por um percentual relevante das emissões totais, respondendo por aproximadamente 28% e 37% das emissões totais cada (MIRANDA, 2016). O resultado de Miranda (2016) foi o mais próximo do obtido no presente trabalho.

Por último, Constantini e Bacenetti (2021), obtiveram uma pegada de GEE de 0,182 kg CO₂e/kg de grão de milho produzido no Paraguai, valor inferior ao encontrado neste trabalho. Além disso, eles reportaram uma maior contribuição das emissões de fertilizantes do que as de resíduos agrícolas para o montante de emissões do milho safrinha, o que corresponde aos resultados deste trabalho e de estudos anteriores (MIRANDA, 2016; CONSTANTINI; BACENETTI, 2021).

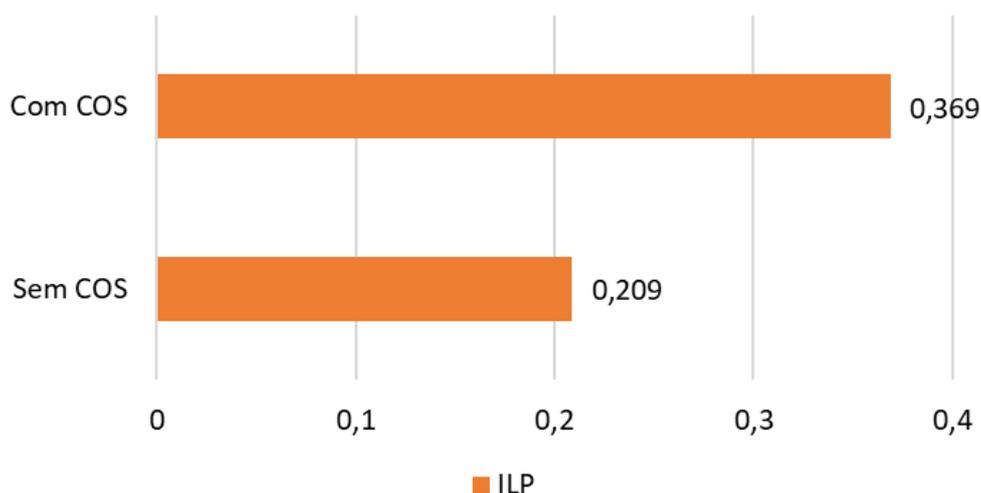


Figura 29: Aumento da pegada de GEE do milho vendido quando COS é considerado. Valores em kg CO₂e/kg de soja.

Dessa maneira, a pegada de GEE obtida neste trabalho para o milho safrinha cultivado em plantio direto e em sequência à soja, sem consideração de COS, se mostrou condizente com estudos anteriores, que também indicaram participação relevante das

emissões de fertilizantes nessa cultura (PRUDÊNCIO DA SILVA *et al.*, 2014; CARDOSO *et al.*, 2016; MIRANDA, 2016; CONSTANTINI; BACENETTI, 2021). Contabilizando o COS estocado na lavoura de milho safrinha, a pegada de GEE aumentou 76%. O acúmulo de COS em sistemas de plantio direto de soja e outros grãos ainda não é consensual entre pesquisadores. Há trabalhos que apontam para maiores níveis de COS em solos sob plantio direto quando comparados ao plantio convencional ou até mesmo à vegetação nativa (BAYER *et al.*, 2006; SÁ *et al.*, 2015), e há aqueles que não encontram diferenças significativas entre esse método de cultivo e o convencional (CORBEELS *et al.*, 2016; DE SANT-ANNA *et al.*, 2017).

Carvalho *et al.* (2014) observaram uma maior perda de COS em lavouras de grão de soja e milho safrinha sob plantio direto do que em pastagens solteiras não degradadas, porém não fertilizadas anualmente. Salton *et al.* (2014) também indicaram maiores estoque de COS em pastagens solteiras do que em lavouras de plantio direto. Sendo assim, os resultados desses autores corroboram com a perda de COS no solo das lavouras encontrada no presente trabalho.

Vale ressaltar que as pegadas de GEE da soja para as estratégias Semiconfinamento e Confinamento foram idênticas, pois elas utilizaram as mesmas quantidades de fertilizantes e corretivos, a mesma quantidade de operações agrícolas e tiveram a mesma produtividade. A pegada de GEE da soja com COS foi diferente na estratégia ILP por conta das mudanças de uso de solo envolvidas nesta estratégia.

6.5 Perfil das emissões de GEE

Nesta seção, a participação das diferentes fontes de emissões no montante de emissões do gado, da soja e do milho safrinha é avaliada.

6.5.1 Gado

Analisando-se a participação das fontes de emissão nas estratégias, constatou-se que a fermentação entérica foi a fonte de emissão com maior participação em todas as estratégias, o que foi igualmente observado nos trabalhos de Ruviaro *et al.* (2015), Cardoso *et al.* (2016), Figueiredo *et al.* (2017), Florindo *et al.* (2017).

A estratégia Sistema Extensivo teve a maior participação da fermentação entérica (83%), seguida pelas Estratégias Confinamento (64%), ILP (73%) e Semiconfinamento

(62%). A redução da participação das emissões de fermentação entérica no montante de emissões é condizente com o aumento da digestibilidade da forragem, o incremento do GMD e a diminuição da taxa de conversão de metano observados nas estratégias mais intensivas.

Uma exceção a isso ocorreu na estratégia ILP, que apresenta maior contribuição da fermentação entérica do que as estratégias Semiconfinamento e Confinamento. A estratégia ILP reduziu o uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados e a quantidade de operações agrícolas, o que fez com que a participação dessas fontes de emissão decrescesse, aumentando a relevância da fermentação entérica.

Quanto à estratégia Confinamento, apesar de ter havido uma redução das emissões de metano na fase engorda em confinamento, essa estratégia pôde abrigar mais animais na mesma área que as demais por conta da economia de espaço gerada pelo confinamento. A maior quantidade de animais fez com que a contribuição da fermentação entérica nessa estratégia fosse maior que na Semiconfinamento. A participação dos resíduos animais no montante de emissões não aumentou significativamente da estratégia Sistema Extensivo para as demais. Esse incremento não foi proporcional ao da ureia, pois a taxa de excreção de nitrogênio pelo gado não aumentou de maneira igual à diferença na quantidade de ureia aplicada nas estratégias mais intensivas.

A estratégia Semiconfinamento foi a que registrou maior participação da ureia no total de suas emissões. A leve redução observada nas estratégias Confinamento e ILP se devem, respectivamente, à economia de uso do solo proporcionada pela engorda em confinamento e à diminuição do uso de ureia como consequência do efeito residual das culturas da soja e do milho safrinha.

Quanto à participação das emissões animais nas diferentes fases de produção do gado de corte nas estratégias desenvolvidas, conforme indicado na seção 5.1.5.1, a maior participação da categoria matrizes nas emissões animais das estratégias mais intensivas se deveu à quantidade superior de matrizes nesses rebanhos (em torno de 34% do total de animais). Na estratégia Sistema Extensivo, a menor contribuição das matrizes para o montante de emissões animais pode ser explicada pela participação de destaque da fase de recria.

A recria na estratégia Sistema Extensivo foi dividida em duas categorias por motivos já destacados na seção 4.1.1. A grande quantidade de animais nessa fase e sua

longa duração fizeram com que essa fase fosse a mais representativa nessa estratégia, totalizando 48% das emissões animais. Nas demais estratégias, a participação da recria foi menor como consequência da menor quantidade desses animais e da duração mais breve.

Já a fase de cria registrou a segunda menor participação em todas as estratégias. Isso se deve ao tempo relativamente curto dessa fase (8 meses) e a sua baixa taxa de conversão de metano. A participação ligeiramente superior dessa fase nas estratégias mais intensivas em relação à estratégia Sistema Extensivo é causada pela diminuição da participação da recria.

A engorda, por sua duração menor, correspondeu a uma parcela pequena das emissões animais em todas as estratégias. Vale ressaltar como essa etapa teve suas emissões significativamente reduzidas na estratégia Confinamento. A terminação animal em confinamento contribuiu para um elevado GMD, o que permitiu que essa fase fosse mais curta nessa estratégia. Além disso, a maior digestibilidade da ração de confinamento permitiu a adoção de uma taxa de conversão de metano consideravelmente menor para essa etapa.

6.5.2 Soja e milho safrinha

Assim como no presente trabalho, em Raucci *et al.* (2015) a maior parte das emissões também foram provenientes dos resíduos agrícolas da soja. Entretanto, para esses autores a combustão móvel foi a segunda fonte de emissões mais importante, enquanto a calagem representou apenas 10 à 15% das emissões (RAUCCI *et al.*, 2015). Ao contrário, neste trabalho, a calagem representou a segunda maior parcela das emissões totais (31%), o que se deve à aplicação de aproximadamente 200 kg a mais de calcário do que em Raucci *et al.*, 2015.

Os resíduos agrícolas apareceram como principal fonte de emissão do cultivo de soja em plantio direto em Castanheira e Freire (2013), assim como neste trabalho, sendo a combustão móvel outra fonte de destaque (CASTANHEIRA, FREIRE, 2013). Quanto ao milho safrinha, a comparação com outros estudos se mostrou mais difícil, pois os autores citados anteriormente na seção 5.1.3 utilizam de outras formas de categorização das fontes de emissão. Assim, essa comparação não é feita nesta seção.

6.6 Desempenho financeiro

Nesta seção, os indicadores financeiros obtidos com a análise financeira e apresentados na seção 5.2.2 são comparados entre si e com resultados de outros trabalhos. As receitas, os custos e os lucros anualizados de cada estratégia e escala de produção são ilustrados na Figura 30, na Figura 31 e na Figura 32.

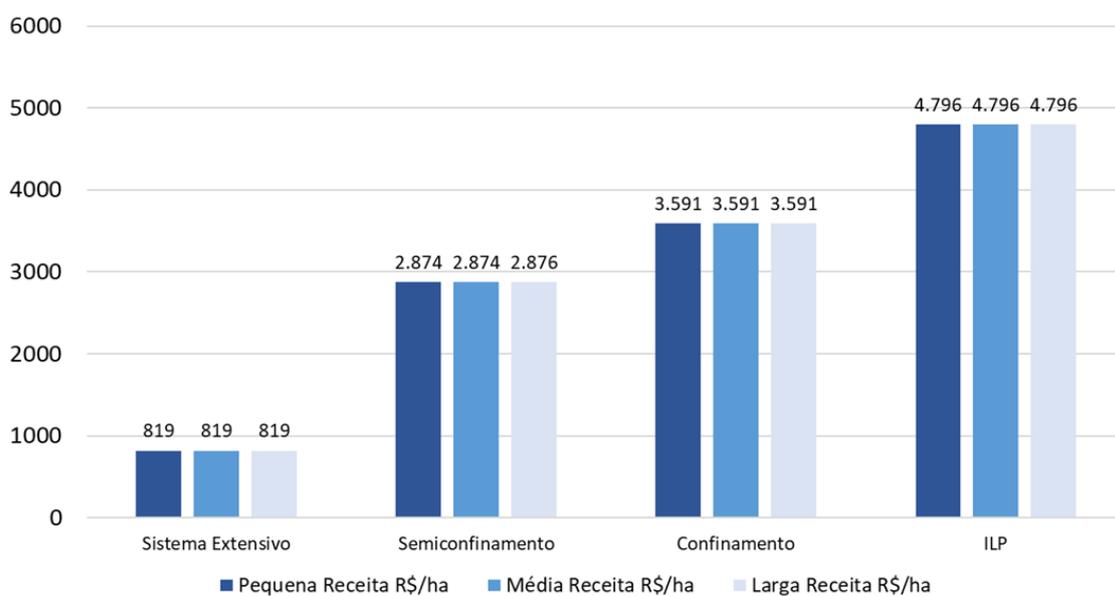


Figura 30: Receitas anualizadas de diferentes estratégias e escalas de produção.

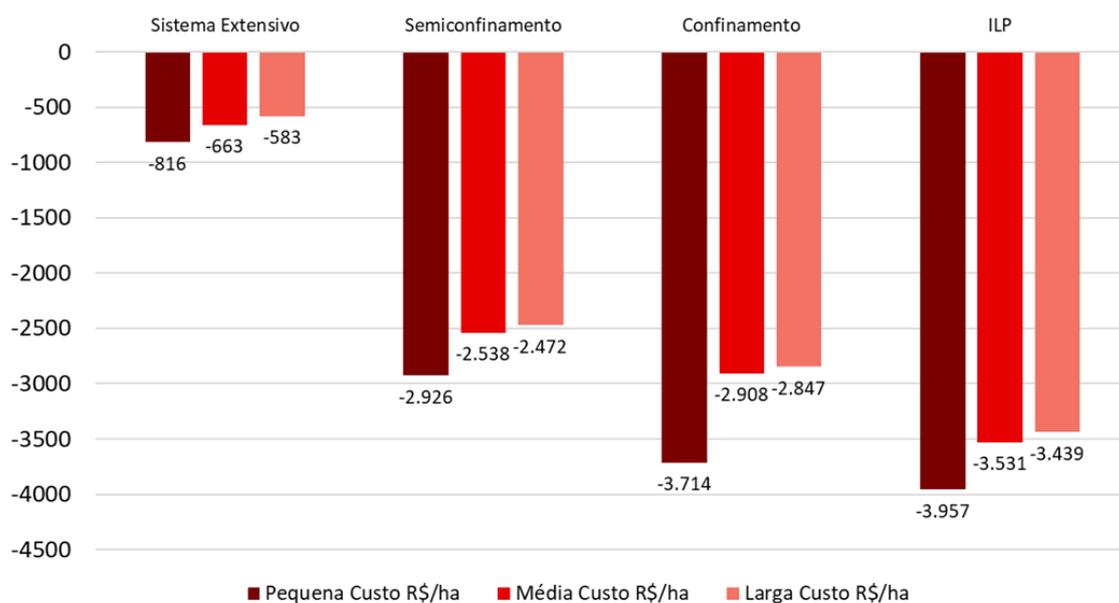


Figura 31: Custos anualizados de diferentes estratégias e escalas de produção.

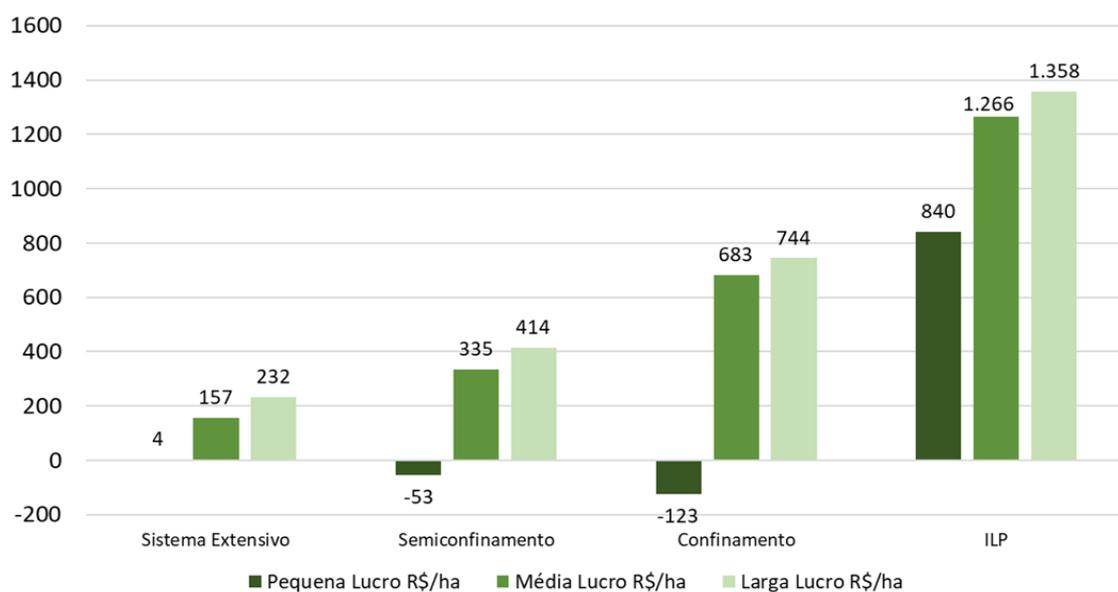


Figura 32: Lucros anualizados de diferentes estratégias e escalas de produção.

No presente trabalho verificou-se um incremento dos indicadores financeiros de VPL, TIR, lucro anualizado e margem líquida conforme a escala de produção foi aumentada. É igualmente possível notar que o custo anualizado em cada estratégia diminuiu com a escala de produção, conforme indicado na Figura 31. Esses resultados indicam que a lucratividade da produção de gado bovino de corte em ciclo completo foi diretamente proporcional à escala de produção (ver Figura 32).

No caso da estratégia ILP, como esta foi a única a apresentar resultados positivos na pequena escala de produção, concluiu-se que a produção de soja e de milho foi menos influenciada pela escala da propriedade do que a produção de bovinocultura de corte em ciclo completo. Em comunicação pessoal com produtor leiteiro de Minas Gerais⁴, foi informado que não é comum na sua região que produtores de gado de corte de ciclo completo tenham propriedades com menos de mil hectares. Isso corrobora com os resultados encontrados. Ele afirmou que, geralmente, propriedades abaixo desse tamanho se concentram em alguma etapa da produção, ao invés de trabalharem com o ciclo completo.

Demeu (2011) analisou a rentabilidade de seis sistemas produtivos de ciclo completo para bovinos de corte em Minas Gerais. A autora verificou que o sistema de maior área produtiva foi também aquele a apresentar os menores custos unitários e a maior lucratividade. Além disso, os sistemas de pequena e média escala da autora, de 120 e 350 hectares, respectivamente, apresentaram lucro negativo. Somwaru e Valdes (2004) e Pereira *et al.* (2005) igualmente destacam o papel da economia de escala no aumento da lucratividade e a redução dos custos da bovinocultura de corte, dado o papel relevante dos custos fixos, que impactam mais o produtor de pequena escala. Assim, é provável que o lucro negativo da estratégia Sistema Extensivo na pequena escala de produção tenha sido devido a uma exigência de tamanho mínimo característica do próprio negócio.

Essa relação de economia de escala na bovinocultura de corte também pôde ser percebida no ANUALPEC 2020. A publicação indicou um aumento de aproximadamente 20% do lucro por hectare (R\$/ha) no ciclo completo extensivo de 5.000 ha em relação ao de 500 ha (IEG FNP, 2021b). Já para o ciclo completo intensivo, esse aumento foi ainda maior, de aproximadamente 70% (IEG FNP, 2021b).

Quanto ao custo de formação de pastagem, ilustrado na Figura 33, esse foi mais baixo na estratégia Sistema Extensivo por conta da qualidade inferior desse pasto. A baixa quantidade de fertilizantes e o menor número de operações agrícolas para formação da pastagem com máquinas que consomem diesel foram os fatores responsáveis por esse custo inferior. Com a intensificação da produção, conforme o esperado, o custo de formação por hectare se elevou. Vale destacar que foram avaliados dois tipos de custo de

⁴ Comunicação pessoal com Ricardo Cardoso, produtor de leite do norte de Minas Gerais, no dia 15 de janeiro de 2022

formação: o primeiro, que envolveu todas as estratégias, contabilizou os custos referentes à formação de uma pastagem, melhorada ou não, a partir de uma pastagem nominal; o segundo tipo abarcou os custos de formação de uma pastagem melhorada a partir de uma lavoura de soja-milho safrinha.

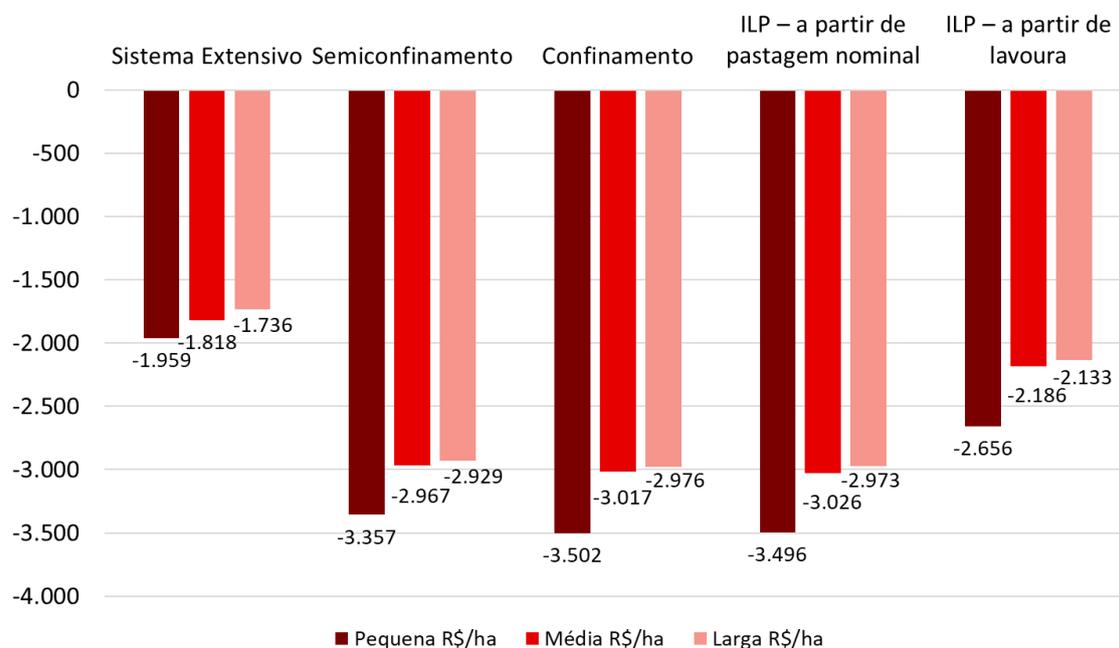


Figura 33: Custo de formação de pastagem em diferentes estratégias e escalas de produção.

A estratégia ILP desenvolvida neste trabalho funcionou com a rotação de áreas de lavoura e pecuária pela propriedade. Sendo assim, no ano 0, uma pastagem melhorada foi formada a partir de uma pastagem nominal em 2/3 da área produtiva da propriedade. Já no ano 4, em 1/3 da fazenda houve a formação de pastagem melhorada a partir de uma área que antes era lavoura. A estratégia com custo de formação mais elevado foi a ILP, quando se considerou a formação a partir de pastagem nominal, com pouca diferença para a Semiconfinamento e a Confinamento. No entanto, quando se analisou o custo de formação de pastagem a partir de lavoura, a estratégia ILP conseguiu reduzir em R\$ 894/ha o custo de formação.

Essa economia foi fruto do efeito residual da adubação da lavoura e da deposição de resíduos vegetais na área que se torna pasto. Supôs-se que o efeito residual do nitrogênio dos resíduos vegetais e daquele aplicado sobre o milho gerou uma redução de 10% na quantidade de nitrogênio aplicado sobre as pastagens no seu ano de implantação pós-lavoura e de 5% nos dois primeiros anos de manutenção (DE SOUSA; LOBATO, 2004; MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA,

2007; MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; CORDEIRO *et al.*, 2015; VILELA; MARTHA JÚNIOR; DE SOUSA, 2020).

Além disso, também houve uma economia no uso de fósforo, que não foi empregado no estabelecimento da pastagem pós-lavoura. Esses dois fatores influenciaram diretamente a redução do custo de formação de pastagem após o cultivo de soja-milho safrinha (DE SOUSA; LOBATO, 2004; MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006; MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007; MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; CORDEIRO *et al.*, 2015; VILELA; MARTHA JÚNIOR; DE SOUSA, 2020).

de Sousa e Lobato (2004) estimaram que haja um aproveitamento de aproximadamente 45%, 22% e 11% do nitrogênio presente nos resíduos vegetais da soja e do milho plantados 1, 2 e 3 anos antes da cultura em questão, respectivamente. Martha Júnior *et al.* (2006) também afirmam que no primeiro ano de pastagem da ILP existe uma menor necessidade de adubação nitrogenada devido às altas doses de nitrogênio aplicadas na lavoura.

Entretanto, Vilela, Martha Júnior e de Sousa (2020) afirmam que o efeito residual do nitrogênio sobre a pastagem pós-lavoura é baixo e diminui rapidamente após a implementação da pastagem. Sendo assim, ainda é incerto o grau de economia que pode ser gerado com os resíduos de soja e milho safrinha em plantio direto.

Martha Júnior, Vilela e de Sousa (2007) indicaram que a rotação lavoura-pastagem, especialmente de Brachiaria, foi capaz de recuperar até 69% a mais do fósforo adicionado no solo do que o cultivo apenas de culturas anuais. Os autores afirmaram que existe uma grande economia de fósforo com a estratégia ILP (MARTHA JÚNIOR; VILELA; DE SOUSA, 2007), que inclusive pode vir a dispensar a adubação com fósforo nos dois ou três primeiros anos de pastagem pós-lavoura (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006), conforme praticado neste trabalho.

A soja foi o produto que apresentou o maior valor de receita/ha, conforme indicado na Tabela 25. O AGRIANUAL 2020 estimou o custo, a receita e o lucro para a soja cultivada por uma propriedade de 1.500 hectares no Centro-Oeste na safra 2020/2021. De acordo com essa publicação, a receita por hectare foi de R\$ 5.800 à R\$ 6.102 para esse mesmo tipo de soja (IEG FNP, 2021a), um pouco inferior à receita obtida neste trabalho. Vale ressaltar que essa publicação estimou esses indicadores financeiros para uma propriedade de 1.500 hectares (IEG FNP, 2021a), valor próximo apenas do que foi

considerado como média escala de produção neste trabalho. Portanto, é possível que haja uma variação desses indicadores com a diminuição ou o aumento de escala. O milho safrinha obteve uma receita inferior à soja, porém superior ao gado. Segundo o AGRIANUAL 2020, a receita por hectare desse grão foi de R\$ 2.625 à R\$ 3.300 (IEG FNP, 2021a), sendo assim condizente com o resultado obtido neste trabalho.

A estratégia ILP foi aquela a obter os maiores valores de receita, custo, lucro, VPL, TIR e margem líquida em todas as escalas de produção, o que pode ser explicado pela maior importância da produção de soja e milho nessa estratégia. Esses dois produtos, especialmente a soja, geraram receitas superiores ao gado, o que possibilitou que a estratégia ILP fosse a única a obter um lucro total positivo na pequena escala.

Resultados financeiros similares para a ILP já foram apontados por alguns outros estudos. No trabalho de Martha Júnior, Alves e Contini (2011), a ILP se mostrou mais lucrativa que a pecuária extensiva em quase todos os cenários de preços e produtividade estipulados pelos autores. Já em relação à lavoura de soja, o sistema ILP foi, na maior parte das vezes, menos lucrativo que o cultivo deste grão (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011). Lazzarotto *et al.* (2010) analisaram a viabilidade financeira e a exposição à riscos entre três sistemas produtivos: bovinocultura de corte, lavoura de grãos com cultivo de soja e milho e ILP. Nessa análise, os autores concluíram que o sistema ILP foi o mais lucrativo, além de apresentar uma oportunidade para reduzir os riscos decorrentes da variação de preço de mercadorias (LAZZAROTTO *et al.*, 2010)

A estratégia Confinamento foi a que apresentou a segunda maior receita, o que foi uma consequência direta do aumento da quantidade de arrobas produzidas por hectare. Já em relação aos custos, ela também foi a segunda mais custosa. Apesar de a estratégia Confinamento ter tido uma pequena redução na compra de ureia por conta da substituição parcial desse fertilizante por uma opção orgânica, a mesma necessitou de uma área maior para produção de ração do que a estratégia Semiconfinamento.

Ademais, a implantação de instalações específicas para o confinamento do gado no ano 0 e a manutenção nos anos seguintes também influenciou o custo de produção mais elevado dessa estratégia e o maior investimento inicial entre todas as estratégias, indicado na Figura 18. Tal resultado está de acordo com Rosa, Nogueira e Torres Jr. (2004), que indicaram que o investimento para implementar um esquema de confinamento era significativamente superior ao de um semiconfinamento.

Na pequena escala de produção, a estratégia Confinamento registrou um lucro total inferior à linha de base. Conforme visto anteriormente, a pecuária de corte se beneficia de uma economia de escala, ou seja, em pequenas escalas de produção, este negócio pode ser inviável ou pouco lucrativo (SOMWARU; VALDES, 2004; PEREIRA *et al.*, 2005; DEMEU, 2011; IEG FNP, 2021b). Além disso, é possível que a aquisição de cabeças adicionais de gado tenha influenciado nesse resultado.

A estratégia Semiconfinamento registrou os menores valores de receita, lucro, VPL, TIR e margem líquida entre as estratégias intensivas. Portanto, esta foi a opção de intensificação pecuária de pior desempenho. A implantação da estratégia Semiconfinamento em pequena escala gera lucro inferior à Sistema Extensivo. De forma similar à estratégia Confinamento, esse resultado pode ser devido à aquisição de cabeças adicionais no ano 0 e aos ganhos de escala já relatados anteriormente (SOMWARU; VALDES, 2004; PEREIRA *et al.*, 2005; DEMEU, 2011; IEG FNP, 2021b).

Apesar dos custos superiores do confinamento, comparando-se essas duas modalidades, Rosa, Nogueira e Torres Jr. (2004) afirmaram que a terminação em confinamento resulta em um lucro aproximadamente 25% maior do que a terminação conduzida em semiconfinamento, o que pode ser confirmado na Tabela 29. O custo elevado no ano 0 com a compra de cabeças de gado e, no caso da estratégia Confinamento, com a implementação das instalações para confinar o gado, foram responsáveis também pela menor variação da TIR total ao longo das três escalas de produção nas estratégias agropecuárias intensivas em comparação com a linha de base.

6.7 Custos de abatimento

A Figura 34 ilustra os custos de abatimento nas diferentes estratégias e escalas de produção desenvolvidas neste trabalho em dólares americanos (US\$/t CO₂e).

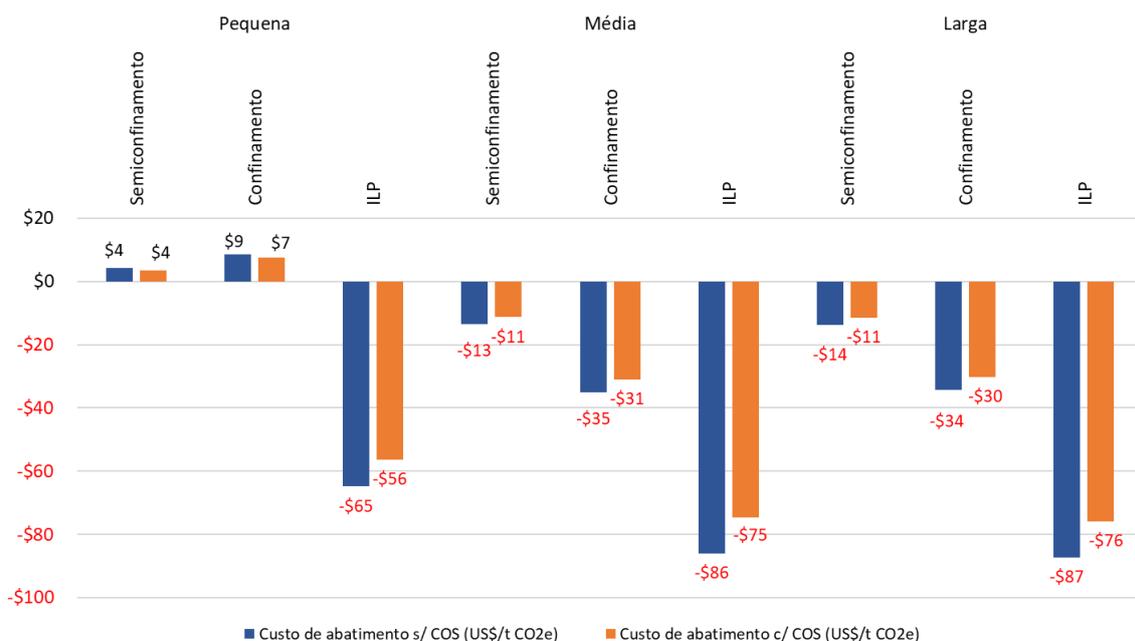


Figura 34: Custos de abatimento por estratégia e escala de produção em dólares americanos (US\$/t CO₂e)

Os custos unitários de abatimento das emissões de GEE decresceram da pequena para a média escala de produção. Isso foi resultado da economia de escala da bovinocultura de corte: o lucro desta atividade cresceu em uma proporção maior que a diferença entre as emissões da estratégia intensiva em questão e a linha de base. Já da média para a larga escala ocorreu o inverso: os custos unitários de abatimento aumentaram, embora ainda tenham sido consideravelmente inferiores aos da pequena escala. Tal inversão se deveu a motivo semelhante. A diferença de lucro obtida com a passagem da média para a larga escala foi menor que a quantidade de emissões de GEE abatidas.

Além disso, também é possível notar que as estratégias Semiconfinamento e Confinamento possuíram um custo de abatimento de GEE positivo na pequena escala de produção. Isso condiz com os resultados financeiros indicados na seção 4.2.2: apesar de essas estratégias terem apresentado pegadas de GEE inferiores à estratégia Sistema Extensivo, ambas tiveram VPLs e lucros negativos na pequena escala, sendo, inclusive, valores abaixo da linha de base. A estratégia ILP foi a única a registrar um custo de abatimento médio de GEE negativo em todas as escalas de produção.

Soares Filho *et al.* (2017) obtiveram um custo de abatimento para a intensificação da pecuária que variou de US\$ 0,32/t CO₂e à US\$ 1,99/t CO₂e para as taxas de desconto de 15% e 8% ao ano, respectivamente. Vale ressaltar que esses autores consideraram a

reforma de pastagens degradadas, a adubação de pastagens extensivas e o confinamento do gado. Tais valores foram inferiores ao encontrado neste trabalho para as estratégias Semiconfinamento e Confinamento em pequena escala, conforme indicado na Figura 34.

No entanto, na média e na larga escalas, o custo de abatimento de GEE nessas estratégias passou a ser negativo, variando de acordo com o apresentado na Figura 34. Esses resultados foram consideravelmente menores do que os obtidos por Soares Filho *et al.* (2017) para sistemas intensivos. Diferenças na abordagem de análise financeira e quantificação de emissões de GEE explicam essa discrepância. Além disso, este trabalho utilizou valores em R\$ 2020, enquanto Soares Filho *et al.* (2017) utilizaram valores ajustados à, no máximo, R\$ 2017, embora os autores não deixem claro.

Assim como neste trabalho, Soares Filho *et al.* (2017) também obtiveram um custo de abatimento de GEE consideravelmente inferior nos sistemas integrados (ILP e ILPF) em comparação à intensificação da pecuária (pastagens degradadas, a adubação de pastagens extensivas e o confinamento do gado). Esses autores registraram um custo de abatimento de GEE para sistemas integrados que variou de US\$ -1.978 à US\$ -500/t CO₂ para as taxas de desconto de 8% e 15% ao ano, respectivamente (SOARES FILHO *et al.*, 2017). Já no presente trabalho, a estratégia ILP alcançou um custo de abatimento consideravelmente inferior a esses valores, dependendo da escala de produção e da inclusão ou não de COS. Conforme apontado anteriormente, é possível que diferenças na contabilização dos custos, das receitas e do inventário das emissões de GEE expliquem essa diferença.

Para Nassar, Soares Filho e de Gouvello (2010), o custo unitário de abatimento da a pecuária de baixo carbono (que inclui sistemas ILP e confinamento na engorda) foi de US\$ -2,5/t CO₂, considerando uma taxa de desconto social de 8%. Os autores também realizaram cálculo semelhante sob um ponto de vista do setor privado, onde foi calculado um “preço de equilíbrio do carbono”, onde a TIR de benchmarking foi de 12%. Nesse caso, para mitigar a mesma quantidade de emissões e garantir uma TIR de 12% para o setor privado, seria necessário um preço de equilíbrio do carbono de US\$ 1,47/t CO₂e (NASSAR; SOARES FILHO; GOUVELLO, 2010). Assim, como em Soares Filho *et al.* (2017), esses valores não estão distantes daqueles obtidos neste trabalho para as estratégias Confinamento e ILP, tendo em vista as divergências na contabilização financeira e de GEE e a inflação.

Vale ressaltar que em Nassar, Soares Filho e de Gouvello (2010) e em Soares *et al.* (2017), o custo de abatimento para pecuária de baixo carbono e sistemas integrados, respectivamente, aumentou conforme o incremento da taxa de desconto em diferentes setores analisados pelos autores, não só na pecuária de baixo carbono. Isso é algo comum de acontecer, pois a elevação da taxa de desconto é acompanhada pela redução do VPL da estratégia de mitigação, o que aumenta o numerador da equação de custo de abatimento e, conseqüentemente, produz um custo de abatimento maior (HALSNÆS; CALLAWAY; MEYER, 1998). No caso do custo de abatimento da intensificação da pecuária em Soares *et al.* (2017), ocorreu o oposto: o custo de abatimento aumentou com a redução da taxa de desconto. Entretanto, não foi encontrada uma explicação para esse resultado.

6.8 Análise de sensibilidade

A participação de destaque do parâmetro EFCH₄ no aumento e na diminuição da pegada de GEE e do custo de abatimento estão de acordo com a grande relevância que a fermentação entérica tem nas emissões do gado, sendo a principal fonte de emissão em todas as estratégias. Quando as emissões de COS são contabilizadas, no caso da estratégia ILP, o FI passa a ser parâmetro de GEE de maior influência na pegada de GEE, fazendo a mesma variar em +30%/-30%, e no custo de abatimento das estratégias, que neste caso variou de 10% à -13%. Esses resultados, ilustrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** confirmam que o incremento das técnicas de manejo de pastagem pode trazer ganhos relevantes no acúmulo de COS, que se refletem em um decréscimo considerável da pegada de GEE do gado.

Entretanto, como já indicado nas seções anteriores, a contabilização do armazenamento ou da liberação de carbono orgânico no solo possui muitas incertezas. Os valores de COS em uma determinada área podem variar consideravelmente dependendo do tipo de solo, de sua drenagem e topografia, da vegetação local, da categoria de uso de solo atual e prévia e dos métodos de amostragem e análise de solos empregados (GOIDTS; WESEMAEL; CRUCIFIX, 2009; JANDL *et al.*, 2014; VANGUELOVA *et al.*, 2016). Dessa maneira, faz-se necessário um maior investimento em estudos de mapeamento de COS nos mais diversos ambientes, bases de dados de solos e programas de mensuração e monitoramento de longo prazo, que possibilitem a modelos matemáticos de previsão de mudança de COS mais precisos.

A aplicação da análise de sensibilidade nos parâmetros financeiros gerou alterações mais expressivas nos custos de abatimento das estratégias que, em alguns cenários, aumentaram em até 400% ou diminuíram em até 360%, aproximadamente. As maiores alterações dos custos de abatimento se deram na pequena escala de produção das estratégias Semiconfinamento e Confinamento. Em geral, a taxa de desconto e o preço do boi gordo foram os parâmetros que mais influenciaram os custos de abatimento. Esses resultados são retomados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

O aumento da taxa de desconto reduz o VPL do fluxo de caixa. Consequentemente, o numerador da equação de custo de abatimento se torna maior, aumentando também o custo de abatimento, conforme explicado na seção 6.7. Já o preço da arroba do boi gordo costuma sofrer com grande volatilidade, assim como o de outras *commodities*, como a soja e o milho. Essa volatilidade está relacionada à imposição ou retirada de barreiras econômicas, ocorrência de eventos climáticos, variação nos preços de outros bens e insumos relacionados à produção da *comoditiy* em questão, variação cambial, mudanças tecnológicas e na cadeia de transporte (CAMPOS, 2007; CASTRO; DA SILVA NETO, 2018).

A variação dos custos de aquisição de fertilizantes e corretivos não afetou tanto o custo de abatimento quanto a do preço da arroba do boi gordo ou da taxa de desconto, mas ainda sim mostrou-se relevante. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2021 o Brasil produziu 7.210.335 t de fertilizantes intermediários e importou 39.258.338 t desses produtos (ANDA, 2022), ou seja, aproximadamente 85% dos fertilizantes utilizados no país vieram do exterior. Assim, a variação de preços de fertilizantes é algo que pode afetar enormemente o setor agropecuário.

Não foram encontrados trabalhos semelhantes onde fosse realizada uma análise de sensibilidade para parâmetros de GEE e financeiros que fossem usados para calcular um custo de abatimento. A maior parte dos trabalhos encontrados aplicavam análises de sensibilidade apenas para parâmetros relacionados às emissões de GEE (DE OLIVEIRA *et al.*, 2016; MACLEOD; MORAN, 2017; SALMON *et al.*, 2018).

6.9 Perspectivas para a intensificação da pecuária de corte no Brasil

Conforme visto nas seções anteriores, as estratégias intensivas possibilitaram uma redução considerável na pegada de GEE das carcaças bovinas, sendo a diferença para a estratégia Sistema extensivo ainda maior quando o carbono sequestrado pelo solo das pastagens foi contabilizado. Acresce que a redução na intensidade de GEE do produto principal foi acompanhada por um incremento no lucro da produção em média e larga escalas. Assim, a intensificação da pecuária se traduziu em benefícios climáticos para a sociedade e financeiros para o produtor.

Embora controverso, um terceiro benefício que a intensificação da pecuária pode trazer é a liberação de terras para o cultivo de outros produtos ou para outros usos ambientais, como a preservação (MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; VIEIRA FILHO, 2016). A intensificação da produção de alimentos pode ou não ser acompanhada de “efeito rebote”⁵, sendo que nesses casos políticas específicas devem ser desenvolvidas para evitar que isso aconteça. Assim, a intensificação da pecuária tem a sua importância, desde que não seja vista como a única solução para o desmatamento ou o acesso a alimentos (BYERLEE, STEVENSON; VILLORIA, 2014; PHALAN *et al.*, 2016; DESQUILBET; DORIN; COUVET, 2017; MELI; BENAYAS; BRANCALION, 2019; DOS SANTOS *et al.*, 2020).

O Plano ABC+, o novo ciclo para os anos de 2020 à 2030, apontou sete iniciativas de produção sustentável, os “Sistemas, Práticas, Produtos e Processos de Produção Sustentáveis” (SPSABC) (MAPA, 2021). Entre elas, duas são compatíveis com as três estratégias de intensificação desenvolvidas neste trabalho: (i) terminação intensiva, que inclui a adoção de práticas de semiconfinamento, confinamento e suplementação a pasto, compatível com as estratégias Semiconfinamento e Confinamento; (ii) sistemas integrados, que inclui iniciativas de ILPF, ILP, IPF, ILF e SAFs, compatível com a estratégia ILP.

Apesar do investimento inicial mais elevado, o uso de técnicas de semiconfinamento e confinamento no Brasil vêm aumentando. De acordo com o

⁵ a maior produtividade reduz os preços tendem a cair, o que aumenta a demanda (ALCOTT, 2005; DESQUILBET; DORIN; COUVET, 2017).

ANUALPEC 2020, o número de cabeças em semiconfinamento no Brasil em 2012 era de 2,7 milhões, enquanto em 2021 esse número elevou-se para 3 milhões, um incremento de aproximadamente 13% (IEG FNP, 2021b). Já em relação ao confinamento, a publicação registrou aproximadamente 3,7 milhões de cabeças no país em 2012 e 4,5 milhões em 2021, um aumento de aproximadamente 19% na modalidade (IEG FNP, 2021b).

Para produtores menores, a adoção do confinamento pode ser complexa, já que eles frequentemente não possuem o capital necessário para se fazer o alto investimento inicial requerido por essa modalidade. Nesses casos, o semiconfinamento se apresenta como uma opção interessante, pois requer um investimento inicial menor, o que implica também em menos riscos para o produtor, e possibilita um incremento na produção em relação ao sistema extensivo (ROSA; NOGUEIRA; TORRES JR., 2004; GOMES *et al.*, 2015; BENTO *et al.*, 2019).

A técnica de semiconfinamento pode ser ainda integrada com outras, como o próprio ILPF. Neste trabalho, a estratégia ILP envolveu tanto a integração lavoura-pecuária, através de rotação de áreas, como o semiconfinamento do gado na engorda. A nutrição rica em concentrados nesta fase de produção e a melhor qualidade da pastagem implicaram em um tempo de terminação mais rápido nesta estratégia em relação à Semiconfinamento. O Plano ABC+ estabeleceu como uma de suas metas ter pelo menos 500 mil bovinos abatidos em terminação intensiva (semiconfinamento, confinamento e suplementação a pasto) por ano até 2030 (MAPA, 2021).

A fim de garantir a ampliação de estratégias de semiconfinamento, confinamento e ILP pelo país, é importante que se: (i) fortaleça mecanismos e instituições de assistência técnica e extensão rural; (ii) amplie a linha de crédito “Programa ABC”, disponível através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com taxas de juros mais baixas e facilidades para o pequeno e médio produtor; (iii) comunique melhor para o produtor quais são as linhas de crédito disponíveis e quais são as iniciativas englobadas no Plano ABC+ (SOARES FILHO *et al.*, 2017; BARROS *et al.*, 2021; MAPA, 2021).

Neste trabalho, as estratégias intensivas registraram custos de abatimento de GEE e de metano baixos ou, na maioria das vezes, negativos. Medidas similares também obtiveram custos de abatimento nulos ou negativos em outros estudos (DE OLIVEIRA SILVA; BARIONI; MORAN, 2015; NASSAR; SOARES FILHO; DE GOUVELLO,

2010; SOARES FILHO *et al.*, 2017). Esses resultados ressaltam que, ao menos em escalas maiores de produção, foi mais lucrativo mitigar a pegada de GEE do gado de corte através de técnicas como o semiconfinamento e o confinamento do que produzir de maneira extensiva.

Vale ressaltar que, dependendo da variação de parâmetros de GEE e financeiros, esses custos de abatimento podem ser tornar mais ou menos favoráveis, chegando mesmo a ficarem positivos para a média e larga escala de produção, conforme apontado pela análise de sensibilidade conduzida no presente trabalho. Assim, embora resultados favoráveis à intensificação pecuária tenham sido obtidos neste trabalho, este cenário está sujeito à modificações com a alteração de certos parâmetros.

A expansão da adoção de técnicas como a de sistemas integrados de produção, semiconfinamento, confinamento, etc. deveria ser priorizada pelo governo e pelas instituições de fomento ao desenvolvimento agropecuário e econômico do país. Tal incentivo possibilitaria não só o crescimento econômico do setor como também o cumprimento de metas ambientais com as quais o Brasil se comprometeu. O país se tornou signatário do Global Methane Pledge em 2021. Tendo em vista que a maior parcela das emissões de metano na agropecuária foi derivada da fermentação de bovinos de corte, o foco em estratégias que mitiguem especificamente essa fonte de emissões merece destaque (BRASIL, 2022; CCAC, 2021; IPCC, 2022; SEEG, 2021; UNEP; CCAC, 2021).

A diversificação da produção também foi uma clara vantagem da estratégia ILP. A soja apresenta uma receita mais elevada por hectare do que o milho ou o gado. Assim, com um terço da área da propriedade dedicada à produção desse grão, foi possível a obtenção de lucros muito maiores do que nas outras estratégias intensivas. Os lucros mais elevados foram fundamentais para fazer com que a estratégia ILP registrasse um custo de abatimento de GEE e de metano negativo em todas as escalas de produção.

Essa diversificação da produção pode ser tanto uma barreira como um benefício para o produtor. O manejo da produção de dois ou mais produtos na mesma propriedade exige uma assistência técnica que nem sempre está disponível para ele. Além disso, essa não é uma prática comum na imensa maioria das propriedades. Assim, devido à falta de assistência técnica especializada e conhecimento e experiência do produtor, a gestão de sistemas integrados como a ILP envolve mais riscos caso o manejo não seja feito de forma

correta (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2006; MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011; SOARES *et al.*, 2017).

Apesar disso, caso o produtor conte com suporte técnico e consiga implementar e manejar o sistema ILP com sucesso, os ganhos econômicos tendem a ser mais altos (LAZZAROTTO, *et al.*, 2010; SOARES FILHO *et al.*, 2017), conforme mostrado neste estudo. Além disso, a produção de mais de um produto final diminui a exposição do produtor às flutuações de preço (LAZZAROTTO, *et al.*, 2010; MARTHA JÚNIOR; ALVES; CONTINI, 2011).

8. Considerações finais

Este trabalho quantificou as emissões de GEE de uma linha de base que buscou ser representativa da pecuária extensiva em pastagem nominal no Centro-Oeste brasileiro, aqui denominada estratégia Sistema Extensivo. A partir desta base, foram quantificadas as emissões de GEE de três estratégias intensivas de pecuária de baixo carbono: Semiconfinamento, Confinamento e ILP. Em sequência, uma análise econômica avaliou os aspectos financeiros dessas quatro estratégias e os custos médios de abatimento de GEE de cada uma das três estratégias intensivas.

As três estratégias intensivas aumentaram as emissões totais de GEE em relação à linha de base. Porém, as estratégias intensivas promoveram uma redução considerável das emissões por unidade funcional (kgCO₂e/kg de carcaça): acima de 50%, da pegada de GEE da carcaça bovina. Quando considerado o carbono orgânico armazenado no solo, essa diferença entre as estratégias intensivas e a linha de base se aprofundou. As estratégias Confinamento e ILP atingiram aproximadamente a mesma redução de pegada de GEE, porém quando o carbono orgânico no solo foi contabilizado, a redução da ILP se mostrou superior.

As estratégias intensivas foram mais lucrativas na média e na larga escala de produção. Na pequena escala, somente a estratégia ILP obteve um lucro superior ao da linha de base. A estratégia ILP foi a mais lucrativa em todas as escalas de produção. Esses resultados financeiros, somados à redução de emissões, fizeram com que as estratégias intensivas registrassem um custo de abatimento de GEE, inferior à R\$100, ou, na maioria dos casos, negativo.

Dessa maneira, este trabalho revela que a adoção de estratégias de baixo carbono focadas na produção pecuária e agropecuária, em especial a ILP, se traduzem em ganhos ambientais e financeiros. Assim, a criação de instrumentos econômicos, como mercados de carbono e taxação de emissões de GEE, etc., pode acelerar a redução de emissões no setor, porém não é essencial, já que os custos de abatimento são, majoritariamente, negativos.

Todavia, outros mecanismos adicionais são importantes para a adoção mais rápidas dessas estratégias de mitigação de GEE, como: o fortalecimento e a ampliação da assistência técnica e da extensão rural, a ampliação de programas como o Plano ABC+ e a criação de mais linhas de crédito, com condições de acesso facilitadas. Vale ressaltar

que esses custos de abatimento são reflexo das estratégias de mitigação de GEE escolhidas neste trabalho. É possível que outras estratégias de mitigação na agropecuária, que envolvam custos de abatimento maiores, necessitem de instrumentos de mercado para serem adotadas.

Este trabalho possui algumas limitações, entre as quais: a disponibilidade e grande variabilidade de alguns dados ambientais e econômicos; a quantidade de estratégias de mitigação de GEE desenvolvidas; a amplitude geográfica da análise e a alocação dos custos e emissões por produto.

No que tange a análise ambiental, alguns parâmetros técnicos de resposta do gado ao melhor manejo da pastagem estão disponíveis no contexto brasileiro, como o ganho médio diário (GMD). Porém, outros parâmetros, como a digestibilidade da forragem (DE) e a taxa de conversão de metano (Y_m) não estão disponíveis para uma realidade brasileira. Assim, a disponibilidade de alguns dados para modelagem das emissões do gado é limitada.

Para a etapa financeira da análise econômica, verificou-se que existe uma variação considerável na forma como se seleciona e contabiliza os custos de produção, o que dificulta a comparação entre os trabalhos. Além disso, foram encontrados poucos estudos na área. A publicação ANUALPEC amenizou este problema ao consolidar certos indicadores financeiros e custos de produção, o que facilitou a comparação com os resultados deste trabalho. Entretanto, o ANUALPEC consolidou esses dados de forma mais genérica, sem discriminar por técnica de manejo (semiconfinamento, confinamento, ILP, ILPF, etc.), apenas por escala de produção e grau de tecnificação (extensivo, semi-intensivo e intensivo).

Além disso, vale ressaltar que houve uma dificuldade neste trabalho de alocar alguns custos de produção que se referem à toda a propriedade, como o cercamento, o ITR, os salários e encargos trabalhistas. Por isso, os custos de produção apresentados neste trabalho foram apenas à nível das estratégias, e não por produto. Quanto aos custos de abatimento de GEE e, especialmente de metano, existe uma escassez na literatura de desse tipo de estudo para o setor agropecuário.

Portanto, um possível desenvolvimento deste trabalho consiste em realizar uma avaliação estocástica que considere distribuições de probabilidade para os parâmetros de

custo utilizados na análise como forma de aprimorar a quantificação e avaliação da incerteza.

As limitações das análises feitas neste trabalho proporcionam as seguintes oportunidades de investigação futura para: o desenvolvimento de mais estratégias de mitigação de emissões de GEE, a ampliação da área espacial e das raças de gado consideradas, a avaliação de como as mudanças climáticas podem impactar as estratégias desenvolvidas, a construção de um modelo de equilíbrio geral e a contribuição para modelo de análise integrada BLUES.

Outras estratégias de integração, como SAFs, IPF e ILPF também podem ser exploradas, devido às metas nacionais de ampliação desses sistemas através do Plano ABC+. Além disso, conforme já mencionado anteriormente, a fermentação entérica, especialmente de bovinos de corte, corresponde à maior parcela das emissões de GEE no setor agropecuário. Assim, a modelagem futura de estratégias de mitigação de GEE especificamente direcionadas para a fermentação entérica, como o uso de taninos e enzimas inibidoras da metanogênese, se faz muito importante.

Um outro aspecto importante é a ampliação da cobertura espacial de trabalhos futuros. Por limitação de tempo, este trabalho focou apenas na região Centro-Oeste, empregando dados produzidos nessa região ou no Cerrado. Assim, devido a diversidade de solos, biomas e raças de gado nas diferentes regiões do país, seria desejável futuramente expandir essa análise ambiental e econômica para o nível nacional.

Ademais, também se faz pertinente avaliar futuramente como diferentes cenários de mudanças climáticas no território nacional podem afetar cada uma das estratégias. Essa avaliação traria uma perspectiva de adaptação climática, complementar a de mitigação, e poderia trazer informações inéditas sobre a resiliência das estratégias à uma gama de efeitos das mudanças climáticas, por exemplo, alterações de temperatura, de precipitação e de quantidade e tipo de cobertura vegetal etc.

A aplicação de um modelo de equilíbrio geral poderia igualmente enriquecer análises econômicas futuras. A sua utilização possibilitaria a modelagem da variação dos

preços de insumos e produtos de acordo com a oferta e a demanda, o que aumentaria a verossimilhança do trabalho com a realidade.

Por último, vale destacar que os parâmetros empregados neste estudo como dados de entrada, bem como seus resultados, tanto na análise ambiental como financeira e de custos de abatimento, podem contribuir para o aprimoramento do modelo de análise integrada BLUES.

9. Referências

ABIEC, Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil 2021. 2021. http://abiec.com.br/wp-content/uploads/Sumario_2021_BR_3_8.pdf. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

ALCOTT, B. Jevons' paradox. *Ecological economics*, v. 54, n. 1, p. 9-21, 2005. Disponível em: [10.1016/j.ecolecon.2005.03.020](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.020). Acesso em: 03 de maio de 2022.

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. de A.; XAVIER, D. F. As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no país. Juiz de Fora: EMBRAPA, Comunicado Técnico 22, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65321/1/COT-22-As-principais-especies-de.pdf>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.

ANDA, Associação Nacional de Difusão de Adubos. Principais Indicadores do Setor de Fertilizantes. 2022. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Principais_Indicadores_2022.pdf. Acesso em: 09 de set. de 2022.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. SLP: sistema de levantamento de preços. 2021. Disponível em: https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Por_Estado_Index.asp. Acesso em: 18 de dez. de 2021.

AZAPAGIC, A.; CLIFT, R. Allocation of environmental burdens in multiple-function systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 7, n. 2, p. 101-119, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(98\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00046-8). Acesso em: 03 de maio de 2022.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 1ª ed. Brasília, DF: EMBRAPA, pp. 127, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf>. Acesso em: 22 de jul. de 2021.

BANCO DO BRASIL. Moderagro. 2022. Disponível em: <https://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/agronegocios/agronegocio---produtos-e-servicos/credito/investir-em-sua-atividade/moderagro#/>. Acesso em: 21 de fev. de 2022.

BARROS, M. de M. *et al.* Análise da rede de governança e da percepção de um grupo de produtores rurais sobre a implementação do Plano ABC em Goiás. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA, Comunicado técnico 258, 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224696/1/cot-258.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

BAYER, C. *et al.* Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and tillage research*, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>. Acesso em: 12 de nov. de 2021.

BENTO, F. C. *et al.* Efeito dos níveis de suplementação no desempenho de bovinos em sistema de semi-confinamento. *Nativa*, Sinop, v. 7, n. 6, p. 813-819, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7090>. Acesso em: 08 de set. de 2021.

BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v.13, n.4, p. 954-968, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/4818>. Acesso em: 03 de jul. de 2021.

BRANCO, D. A. C. *et al.* Abatement costs of CO₂ emissions in the Brazilian oil refining sector. *Applied Energy*, v. 88, n. 11, p. 3782-3790, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.052>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

BRANCO, D. A. C.; RATHMANN, R. Modelagem setorial de opções de baixo carbono para o setor de outras indústrias. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/arquivos/opcoes-de-mitigacao-de-emissoes-de-gee-em-setores-chave/modelagem-setorial-de-opcoes-de-baixo-carbono-para-o-setor-de-outras-industrias.pdf>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

BRANDÃO, M.; MILA I CANALS, L.; CLIFT, R. Food, feed, fuel, timber or carbon sink? towards sustainable land use: a consequential life cycle approach. *Springer Nature*, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-024-2099-9>. Acesso em: 14 de jul. de 2021.

BRASIL. Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos

da Dívida Agrária e dá outras providências. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19393.htm. Acesso em: 12 de jan. de 2022.

BRASIL. Lei nº 14.013, de 10 de junho de 2020. Dispõe sobre o valor do salário-mínimo a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2020; e dá outras providências. 2020a. Disponível em: <http://www.normaslegais.com.br/legislacao/lei-14013-2020.htm>. Acesso em: 10 de ago. de 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 6 ed. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-aneais-de-emissoes-gee/arquivos/6a-ed-estimativas-aneais.pdf>. Acesso em: 18 de ago. de 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Setor Agropecuária: Subsetor Fermentação Entérica. In: BRASIL. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. 2020. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2020b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30752.30727>. Acesso em: 18 de set. de 2021.

BRAZ, S. P. *et al.* Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded *Brachiaria* Pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 3, p. 914-928, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0269>. Acesso em: 10 de ago. de 2022.

BYERLEE, D.; STEVENSON, J.; VILLORIA, N. Does intensification slow crop land expansion or encourage deforestation? *Global food security*, v. 3, n. 2, p. 92-98, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.04.001>. Acesso em: 12 de abr. de 2022.

CAIRES, E. F. *et al.* Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 5, p. 532-540, 2008. Disponível em: [10.1590/S0103-90162008000500013](https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000500013). Acesso em: 12 de nov. de 2021.

CAMPOS, K. C. Análise da volatilidade de preços de produtos agropecuários no Brasil. *Revista de Economia e Agronegócio*, v.5, p.303-328, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.25070/rea.v5i3.107>. Acesso em: 08 de set. de 2022.

CARDOSO, E. G. Confinamento de bovinos. EMBRAPA, 2000. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~freitasjaf/artigos/CONFINAMENTO.htm>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

CARDOSO, A. S. *et al.* Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86-96, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>. Acesso em: 21 de ago. de 2021.

CARVALHO, J. L. N. *et al.* Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 110, n. 1, p. 175-186, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>. Acesso em: 20 de nov. de 2021.

CASTANHEIRA, E. G.; FREIRE, F. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 54, p. 49-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>. Acesso em: 20 de nov. de 2021.

CASTRO, M. C.; NETO, W. A. DA SILVA. Risco na variação de preços agropecuários: evidências empíricas para os mercados de soja, milho e boi gordo em Rio Verde, Goiás. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 49, n. 1, p. 83-97, 2018. Disponível em: <https://g20mais20.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/view/437/701>. Acesso em: 08 de set. de 2022.

CCAC, Climate & Clean Air Coalition. Global Methane Pledge. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-pledge>. Acesso em: 15 de abr. de 2022.

CECAGNO, D. *et al.* Carbono orgânico do solo em um sistema integrado de produção agropecuária sob diferentes intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5553>. Acesso em: 20 de nov. de 2021.

CECCON, G. Milho Safrinha no Cerrado Brasileiro. *Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, v. 28, n. 162, p. 5-8, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179473/1/Revista-Plantio-direto-2.pdf>. Acesso em: 12 de dez. de 2021.

CEDERBERG, C.; MEYER, D.; FLYSJÖ, A. Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. *SIK Institutet för livsmedel och bioteknik*, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242518937_Life_cycle_inventory_of_greenhouse_gas_emissions_and_use_of_land_and_energy_in_Brazilian_beef_production. Acesso em: 21 de ago. de 2021.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Índices de Preços ao Produtor de Grupos de Produtos Agropecuários - CEPEA/ESALQ – Deflacionados pelo IPA-OG-DI – Produtos Industriais. 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/ipa.aspx>. Acesso em: 18 de fev. de 2022.

CERDÓTES, L. *et al.* Produção e composição do leite de vacas de quatro grupos genéticos submetidas a dois manejos alimentares no período de lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, n. 3, p. 610-622, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000300010>. Acesso em: 01 de set. de 2021.

CERRI, C. E. P. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 122, n. 1, p. 58-72, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.008>. Acesso em: 10 de ago. de 2022.

CERRI, C. C. *et al.* Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 2593-2600, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.072>. Acesso em: 21 de ago. de 2021.

CEZAR, I. M. *et al.* Sistemas de Produção de I Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Documentos 151, pp. 44, 2005. Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/doc151.pdf. Acesso em: 12 de jul. de 2021.

CFSEMG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. 1999. Viçosa, MG: CFSMG, pp. 322, 1999. Disponível em: https://www.sbcs.org.br/loja/index.php?route=product/product&product_id=133. Acesso em: 18 de out. de 2021.

CNA, Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil; CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio. 2022. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB_JAn_Dez_2021_Mar%C3%A7o2022.pdf. Acesso em: 02 de mar. de 2022.

COHN, A. S. *et al.* Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.130716311>. Acesso em: 22 de abr. de 2022.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab. Brasília: CONAB, pp. 60, 2010. Disponível em: https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/download/2522_e0b8e70c798b26b55d5a2a4e09a98520. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Insumos agropecuários. 2021a. Disponível em: <https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta>. Acesso em: 15 de dez. de 2021.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Preços agrícolas, da sociobio e da pesca. 2021b. Disponível em: <https://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 15 de dez. de 2021.

CONGIO, G. S. F. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>. Acesso em: 14 de set. de 2021.

CONSTANTINI, M.; BACENETTI, J. Soybean and maize cultivation in South America: Environmental comparison of different cropping systems. *Cleaner*

Environmental Systems, v. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100017>. Acesso em: 12 de fev. de 2022.

CORBEELS, M. *et al.* Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. *Nature Scientific Reports*, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep21450>. Acesso em: 16 de dez. de 2021.

CORDEIRO, L. A. M. *et al.* Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138863/1/Integracao-lavoura-pecuaria.pdf>. Acesso em: 09 de set. de 2021.

CORRÊA, E. S. *et al.* Desempenho reprodutivo em um sistema de produção de gado de corte. Campo Grande, MS: EMBRAPA, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104569/1/Desempenho-reprodutivo-em-um-sistema.pdf>. Acesso em: 12 de jul. de 2021.

COSTA, F. P. *et al.* Sistemas e Custos de Produção de Gado de Corte em Mato Grosso do Sul - Regiões de Campo Grande e Dourados. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Comunicado Técnico 93, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104665/1/Sistema-e-curstos-de-producao-de-gado.pdf>. Acesso em: 19 de nov. de 2021.

COSTA, K. A. de P.; DE OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V. Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA, Documentos 192, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/215338/1/doc192.pdf>. Acesso em: 22 de set. de 2021.

COSTA, F. P. Custos de Produção na Pecuária de Corte. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Comunicado Técnico 104, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/326855/1/COT104.pdf>. Acesso em: 19 de nov. de 2021.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science*, v. 51, n. 6, p. 491–514, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AN10163>. Acesso: 03 de jul. de 2021.

CRUZ, J. C. *et al.* Sistema de Produção de Milho Safrinha de Alta Produtividade: Safras 2008 e 2009. EMBRAPA, Circular Técnica 160, 2011. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906702/1/circ160.pdf>. Acesso em: 25 de nov. de 2021.

DA CONCEIÇÃO, M. C. G. *et al.* Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. *Agricultural Sciences*, v. 8, n. 9, p. 904-913, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/as.2017.89066>. Acesso em: 16 de dez. de 2021.

DAMIAN, J. M. *et al.* Predicting soil C changes after pasture intensification and diversification in Brazil. *Catena*, v. 202, p. 1-13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105238>. Acesso em: 18 de ago. de 2022.

DA MOTTA, R. S.; COUTO, L. C.; CASTRO, L. Curvas de custos marginais de abatimento de gases de efeito estufa no Brasil: resenha e oportunidades de mitigação. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2012. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1781.pdf. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

DA SILVA, F. F. *et al.* Suplementação a pasto: disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho. *R. Bras. Zootec.*, v.38, p.371-389, supl. especial, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300037>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

DE FIGUEIREDO, E. B. *et al.* Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 420-431, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

DE FREITAS, I. C. *et al.* Agrosilvopastoral Systems and Well-Managed Pastures Increase Soil Carbon Stocks in the Brazilian Cerrado. *Rangeland Ecology & Management*, v. 73, n. 6, p. 776-785, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.08.001>. Acesso em: 22 de ago. de 2022.

DE LIMA, M. A.; *et al.* Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos animais. In: BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa –**

Relatórios de Referência. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), 2010. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/brasil_mcti_fermentacao_enterica.pdf. Acesso em: 25 de jul. de 2021.

DE GOES, R. H. T. B.; DA SILVA, L. H. X.; DE SOUSA, K. A. Alimentos e alimentação animal. Dourados: Editora UFGD, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/3074/1/alimentos-e-alimentacao-animal.pdf>. Acesso em: 25 de jul. de 2021.

DEMEU, A. A. **Custo de produção e análise de rentabilidade de sistemas de produção de gado de corte no estado de Minas Gerais.** Lavras. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal de Lavras (UFLA): Lavras, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1905>. Acesso em: 02 de mar. de 2022.

DE OLIVEIRA, A. D. *et al.* Importância do sistema plantio direto na redução da emissão de gases de efeito estufa no Cerrado. EMBRAPA, Circular Técnica 41, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/207553/1/CT-41.pdf>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

DE OLIVEIRA, J. H. F.; MAGNABOSCO, C. de U.; BORGES, A. M. de S. M. Nelore: base genética e evolução seletiva no Brasil. Planaltina, DF: EMBRAPA, Documentos 49, pp. 50, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/566499/1/doc49.pdf>. Acesso em: 10 de ago. de 2021.

DE OLIVEIRA SILVA, R. *et al.* Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*, v. 6, n. 5, p. 493-497, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2916>. Acesso em 08 de set. de 2022.

DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; MORAN, D. Greenhouse Gas Mitigation through Sustainable Intensification of Livestock Production in the Brazilian Cerrado. *EuroChoices*, v. 14, n. 1, p. 28-34, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12079>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

DE SANT-ANNA, S. A. C. *et al.* Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 108, p. 101–120, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z>. Acesso em: 16 de dez. de 2021.

DE SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2004. 2º ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, pp. 420, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>. 10 de set. de 2021.

DE SOUZA, C. E. **Desempenho de bovinos nelore terminado em sistema de semiconfinamento em pasto de *Brachiaria brizantha* cv.** 2011. Marandu. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2011. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/1832>. Acesso em: 12 de set. de 2021.

DESQUILBET, M.; DORIN, B.; COUVET, D. Land Sharing vs Land Sparing to Conserve Biodiversity: How Agricultural Markets Make the Difference. *Environmental Modeling & Assessment*, v. 22, p. 185–200, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10666-016-9531-5>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

DE S. THIAGO, L. R. L.; DA SILVA, J. M. Aspectos Práticos da Suplementação Alimentar de Bovinos de Corte. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Documentos 159, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPGC-2009-09/12488/1/DOC-159.pdf>. Acesso em: 14 out. de 2021.

DIAS, F. R. T. *et al.* Life cycle inventories for beef cattle in Brazil. In: MATSUURA, M. I. S. F.; PICOLI, J. F. Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil. Zürich: Ecoinvent Association, p. 106-122, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1113475>. Acesso em: 10 de out. de 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. Belém, PA: EMBRAPA, Documentos 402, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

DICK, M.; DA SILVA, M. A.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *Journal of Cleaner*

Production, v. 96, p. 426-434, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/122598/000966092.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

DOS SANTOS, J. S. *et al.* Characterising the spatial distribution of opportunities and constraints for land sparing in Brazil. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58770-5>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

ECOINVENT. Ecoinvent v3.8. 2021. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712069-fcebe4bb-f802>. Acesso em: 23 de nov. de 2021.

ELLERMAN, A. D.; DECAUX, A. Analysis of Post-Kyoto CO₂ Emissions Trading Using Marginal Abatement Curves. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Joint Program Report Series, Report 40, 1998. Disponível em: https://globalchange.mit.edu/sites/default/files/MITJPSPGC_Rpt40.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2022.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Produção de Bovinos em Pastagens de *Brachiaria* spp. Consorciadas com *Calopogonium mucunoides* nos Cerrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 27, n. 2, p. 238-245, 1998. Disponível em: <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/1947.pdf>. Acesso em: 29 de ago. de 2021.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Consumo Voluntário de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob Pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 6, p. 2200-2208, suplemento 2, 2000. Disponível em: <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/2660.pdf>. Acesso em: 29 de ago. de 2021.

FAMATO, Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso. Informativo Técnico nº 01/2020-06/01/2020: Tributário. 2020. Disponível em: <http://appssenarmt.org.br/portal/arquivos/09012020100047.pdf>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

FAO. 2018. Nutrient flows and associated environmental impacts in livestock supply chains: Guidelines for assessment. Version 1. Rome: FAO e Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. 196 pp. Disponível

em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA1328EN/>. Acesso em: 09 de jul. de 2021.

FERNANDES, C. H. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. *UNICIÊNCIAS*, v. 23, n. 2, p. 83-88, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>. Acesso em: 10 de dez. de 2021.

FIPE, Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. Preço médio de veículos. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em: 02 de set. de 2022.

FLORINDO, T. J. *et al.* Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production*, v. 147, p. 119-129, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.021>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

FUENTES-LLANILLO, R. *et al.* Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 208, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

GAMBHIR, A. *et al.* Near-term transition and longer-term physical climate risks of greenhouse gas emissions pathways. *Nature Climate Change*, 11, p. 1055–1062, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01236-x>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

GERSSSEN-GONDELACH, S. J. *et al.* Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 240, p. 135-147, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.012>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

GOIDTS, E.; VAN WESEMAEL, B.; CRUCIFIX, M. Magnitude and sources of uncertainties in soil organic carbon (SOC) stock assessments at various scales. *European Journal of Soil Science*, v. 60, n. 5, p. 723–739, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01157.x>. Acesso em: 22 de ago. de 2022.

GOMES, R. C. *et al.* Estratégias alimentares para gado de corte: suplementação a pasto, semiconfinamento e confinamento. In: DE MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGENSTAB, D. J. **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações.**

(Org.). 1ed. Brasília: Embrapa, pp. 119-140, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120215/1/Nutricao-Animal-CAPITULO-09.pdf>. Acesso em: 28 de set. de 2021.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL; WRI, World Resources Institute; WBCSD, World Business Council for Sustainable Development. Product life cycle accounting and reporting standard. World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute, 2011. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf. Acesso em: 12 de jul. de 2021.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R. Life Cycle Assessment. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/0471238961.lifeguina01>. Acesso em: 16 de jun. de 2022.

HALSNÆS, K.; CALLAWAY, J. M.; MEYER, H. J. Economics of greenhouse gas limitations. Main reports: methodological guidelines. Roskilde, Dinamarca: UNEP, 1998. Disponível em: https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Resource_materials/UNEP_Economics_Greenhouse_Gas_Limitations_Guidelines_1999/UNEPMethodGuidelines.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2022.

HAYASHI, K.; GAILLARD, G.; NEMECEK, T. Life cycle assessment of agricultural production systems: Current issues and future perspectives. Good agricultural practice (GAP) in Asia and Oceania. Taipei: Food and Fertilizer Technology Center, p. 98-110, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240634920_Life_cycle_assessment_of_agricultural_production_systems_Current_issues_and_future_perspectives. Acesso em: 20 de nov. de 2021.

HOFFMANN, A. *et al.* Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período da seca. *Nativa*, v. 2, n. 2, p. 119-130, 2014. Disponível em: [10.31413/nativa.v2i2.1298](https://doi.org/10.31413/nativa.v2i2.1298). Acesso em: 02 de set. de 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Tabela 6906 - Número de estabelecimentos agropecuários, por tipologia, controle de doenças e/ou parasitas, suplementação alimentar e beneficiamento, condição do produtor

em relação às terras, origem da orientação técnica recebida e grupos de área total. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6906>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa da Pecuária Municipal: Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (Tabela 3939), 2020. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/geratabela?name=Tabela%201.xlsx&format=xlsx&medidas=true&query=t/3939/g/2/v/all/p/2020/c79/all/l/p%2Bv,c79,t>. Acesso em: 30 de dez. de 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras (Tabela 6588), 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: 30 de dez. de 2021.

IEG FNP. AGRIANUAL - online. 2021a. Disponível em: <http://www.agriannual.com.br/>. Acesso em: 27 de jul. de 2021.

IEG FNP. ANUALPEC - online. 2021b. Disponível em: <http://anualpec.com.br/>. Acesso em: 27 de jul. de 2021.

IMEA, Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Custo de Produção – Bovinocultura – Ciclo Completo Mato Grosso. 2022a. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=2&s=696277432068079616>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

IMEA, Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. Série Histórica. 2022b. Disponível em: <https://portal.imea.com.br/#/serie-historica>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Comércio exterior do agronegócio: balanço de 2021 e perspectivas para 2022. Carta de conjuntura: agropecuária, n. 54, nota de conjuntura 2, 1º trimestre de 2022, 2022a. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/2022/01/comercio-exterior-do-agronegocio-balanco-de-2021-e-perspectivas-para-2022/>. Acesso em: 19 de abr. de 2022.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEA Data. Taxa de câmbio comercial para compra: real (R\$) / dólar americano (US\$) – média. 2022b. Disponível

em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38590&module=M>. Acesso em: 19 de abr. de 2022.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2016. Kanagawa, Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2016. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 13 de ago. de 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2019. Suíça: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>. Acesso em: 13 de ago. de 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Sixth Assessment Report: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. Acesso em: 10 de out. de 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Sixth Assessment Report: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>. Acesso em: 05 de maio de 2022.

JANDL, R. *et al.* Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. *Science of the total environment*, v. 468, p. 376-383, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.026>. Acesso em: 16 de jun. de 2022.

KESICKI, F. Marginal abatement cost curves for policy making – expert-based vs. model-derived curves. Londres: UCL Energy Institute, pp. 19, 2010. Disponível em: https://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucft347/Kesicki_MACC.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2022.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária. *Simpósio de produção de gado de Corte*, v. 1, p. 201-234, 1999. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/anaclaudiaruggieri/1.-degradacao-de-pastagens-e-ilp.pdf>. Acesso em: 12 de ago. de 2021.

KICHEL, A. N. *et al.* Diagnóstico para o planejamento da propriedade. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Documentos 182, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39408/1/DOC182.pdf>. Acesso em: 12 de ago. de 2021.

KLEPPER, G.; PETERSON, S. Marginal abatement cost curves in general equilibrium: The influence of world energy prices. *Resource and Energy Economics*, v. 28, n. 1, p. 1-23, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2005.04.001>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

KOBERLE, A. *et al.* Brazil's emission trajectories in a well-below 2° C world: the role of disruptive technologies versus land-based mitigation in an already low-emission energy system. *Climatic Change*, v. 162, n. 4, p. 1823-1842, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02856-6>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

LAZZAROTTO, J. J. *et al.* Viabilidade financeira e riscos associados à integração lavoura-pecuária no estado do Paraná. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 12, n. 1, p. 113-130, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33737/1/2201.pdf>. Acesso em: 12 de fev. de 2022.

LIMA, B. da S. **Suplementação de alto consumo na terminação de tourinhos nelore em pastagem de *B. brizantha* cv. marandu**. 2014. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP), Jaboticabal, 2014. Disponível em: <https://147rajetorias.unesp.br/handle/11449/115926>. Acesso em: 14 de set. de 2021.

LOSS, A. *et al.* Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>. Acesso em: 22 de set. de 2021.

MACEDO, M. C. M. Análise comparativa de recomendações de adubação em pastagens. *Simpósio sobre manejo da pastagem*, v. 21, p. 317-356, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Macedo-2/publication/283365057_Analise_comparativa_de_recomendacoes_de_adubacao_em_pastagens/links/6005fe5d299bf14088a60779/Analise-comparativa-de-recomendacoes-de-adubacao-em-pastagens.pdf. Acesso em: 25 de ago. de 2021.

MACEDO, M. C. M. *et al.* Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: Encontro de Adubação de Pastagens da SCOT Consultoria-TEC-FÉRTIL, 1, 2013, Ribeirão Preto, SP. Anais... Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/976514/1/DegradacaopastagensalternativasrecuperacaoMMacedoScot.pdf>. Acesso em: 25 de ago. de 2021.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. 1. Estruturação dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. Dourados, MS: EMBRAPA, Documentos 110, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58600/1/DOC2011110.pdf>. Acesso em: 12 de set. de 2021.

MACLEOD, M.; MORAN, D. Integrating livestock health measures into marginal abatement cost curves. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Épizooties*, v. 36, n. 1, p. 97-104, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20506/rst.36.1.2613>. Acesso em: 08 de set. de 2022.

MAIA, S.M. F. *et al.* Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, v. 149, n. 1-2, p. 84-91, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.023>. Acesso em: 16 de dez. de 2021.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030: Plano Operacional. Brasília: Mapa/DEPROS, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf>. Acesso em: 22 de mar. de 2022.

MANZATTO, C. V. *et al.* Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. Jaguariúna, SP: EMBRAPA, Documentos 122, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215371/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf>. Acesso em: 25 de abr. de 2022.

MARCHÃO, R. L. *et al.* Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil & Tillage Research*, v. 103, n. 2, p. 442-450, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.002>. Acesso em: 25 de nov. de 2021.

MARTINS, C. M. S. **Estoques de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil: uma meta-análise**. 2017. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/16324/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 14 de ago. de 2022.

MARTHA JÚNIOR, G. B. *et al.* Benefícios bioeconômicos e ambientais da integração lavoura-pecuária. Planaltina, DF: EMBRAPA, Documentos 154, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/227643/1/doc-154-CATALOGO.pdf>. Acesso em: 19 de nov. de 2021.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; DE SOUSA, D. M. G. Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. 2007. 1 ed. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, pp. 224, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203801/1/Livro.pdf>. Acesso em: 12 de set. de 2021.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1117-1126, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/49926/1/GBMJ-et-al-Dimensao-economica-ILP.pdf>. Acesso em: 12 de set. de 2021.

MATO GROSSO. Decreto nº 2.212, de 20 de março de 2014. Aprova o Regulamento do ICMS e dá outras providências. Disponível em: <http://app1.sefaz.mt.gov.br/0325677500623408/7C7B6A9347C50F55032569140065EBBF/42ABB08790833F6D84257CA200448229>. Acesso em: 14 de fev. de 2022.

MAZZETTO, A. M. *et al.* Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. *Livestock Science*, v. 175, p. 101-112, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.014>. Acesso em: 19 de nov. de 2021.

MELI, P.; REY-BENAYAS, J. M.; BRANCALION, P. H. S. Balancing land sharing and sparing approaches to promote forest and landscape restoration in agricultural landscapes: Land approaches for forest landscape restoration. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 17, n. 4, p. 201-205, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.09.002>. Acesso: 15 de mar. de 2022.

MF RURAL. Sal mineral. 2021. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/busca/sal-mineral>. Acesso em: 22 de dez. de 2021.

MIRANDA, E. J. **Avaliação de Ciclo de Vida da Soja Mato-Grossense**. 2016. 86 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) – Programa de Pós – Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, 2016. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&150rajet=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjO2_ay4pz4AhWglJUCHQuaC0kQFnoECAgQAQ&url=https%3a%2F%2Ffri.ufmt.br%2Fhandle%2F1%2F2388&usg=AovVaw3YxjqYT40fcK7sT-MCNVgS. Acesso em: 05 de nov. de 2021.

NASSAR, A.; SOARES FILHO, B.; DE GOUVELLO, C. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil: uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas. Washington, D.C.: World Bank Group, 2010. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/em/823991468015878663/pdf/698670ESW0P1050erra0BM0Portug0s0web.pdf>. Acesso em: 10 de set de 2021.

PATRA, A. K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 184, p. 1929–1952, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2090-y>. Acesso em: 15 de set. de 2021.

PEREIRA, M. de A. *et al.* Sistema e Custo de Produção de Gado de Corte no Estado de Goiás. Campo Grande, MS: EMBRAPA, Comunicado Técnico 94, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPGC-2009-09/11524/1/COT94.pdf>. Acesso em: 18 de dez. de 2021.

PHALAN, B. *et al.* How could increasing agricultural yields help to make space for nature? *Science*, v. 351, p. 450-451, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1250000>. Acesso em: 14 de maio de 2022.

PINTO, W. M. M. da S. *et al.* Semiconfinamento para bovinos como opção de ganho de peso animal no período seco. *Natural Resources*, v. 7, n. 1, p. 33-42, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/SPC2237-9290.2017.001.0004>. Acesso em: 14 de set. de 2021.

PORTO, M. O. **Suplementos múltiplos para bovinos de corte nas fases de cria, recria e terminação em pastagens de *Brachiaria decumbens***. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa (UFV): Viçosa, 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/1716>. Acesso em: 28 de ago. de 2021.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management*, v. 133, p. 222-231, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.011>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

QUEIROZ, D. S.; GOMIDE, J. A.; MARIA, J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras: 1. Digestibilidade in vitro e composição química. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 1, p. 53-60, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000100008>. Acesso em: 02 de out. de 2021.

RAJÃO, R. *et al.* The rotten apples of Braz'l's agribusiness. *Science*, v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1251111>. Acesso em: 16 de jun. de 2022.

RAMÍREZ, P. K. S. **Análise de métodos de alocação utilizados em avaliação de ciclo de vida**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93144>. Acesso em: 10 de fev. de 2022.

RATHMANN, R. *et al.* Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de Paris. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/arquivo151rajetes-de-mitigacao-de-emissoes-de-gee-em-setores->

chav152rajetóriasas-de-mitigacao-e-instrumentos-de-politicas-publicas-para-alcance-das-metas-brasileiras-no-acordo-de-paris.pdf. Acesso em: 14 de maio de 2022.

RAUCCI, G. S. *et al.* Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 418-425, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.064>. Acesso em: 22 de jan. de 2022.

REIS, R. A. *et al.* Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, supl. especial, p. 147-159, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300016>. Acesso em: 16 de set. de 2021.

RESTLE, J. *et al.* Grupo genético e nível nutricional pós-parto na produção e composição do leite de vacas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 3, p. 585-597, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000300010>. Acesso em: 01 de set. de 2021.

ROCHEDO, P. *et al.* The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 8, p. 695-698, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0213-y>. Acesso em: 16 de jun. de 2022.

ROSA, F. R. T.; NOGUEIRA, M. P.; TORRES JR., A. M. Confinamento X Semiconfinamento. *Agroanalysis*, v. 24, n. 10, p. 36-39, 2004. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/51929/50731>. Acesso em: 03 de jan. de 2022.

ROSA, S.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. dos S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. *Sociedade & Natureza*, v. 26, p. 333-351, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-451320140210>. Acesso em: 18 de ago. de 2022.

RUVIARO, C. F. *et al.* 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.037>. Acesso em: 18 de out. de 2021.

SÁ, J. C. de M. *et al.* Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land*

Degradation & Development, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2218>. Acesso em: 12 de dez. de 2021.

SAIC, Scientific Applications International Corporation. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2006. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=P1000L86.TXT>. Acesso em: 27 de ago. de 2021.

SAKAMOTO, Leandro S. *et al.* Pasture intensification in beef cattle production can affect methane emission intensity. *Journal of Animal Science*, v. 98, n. 10, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa309>. Acesso em: 20 de nov. de 2021.

SALMON, G. R. *et al.* The greenhouse gas abatement potential of productivity improving measures applied to cattle systems in a developing region. *animal*, v. 12, n. 4, p. 844-852, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731117002294>. Acesso em: 08 de set. de 2022.

SALTON, J. C. *et al.* Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>. Acesso em: 12 de set. de 2021.

SANTOS, M. E. R. *et al.* Produção de bovinos em pastagens de capim-braquiária diferidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.4, p.635-642, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000400007>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970-2020. 2021. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 18 de mar. de 2022.

SOARES FILHO, B. S. *et al.* Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU). Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/csr/wp-content/uploads/2018/01/Setor-AFOLU.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2022.

SOMARATHNA, P. D. S. N. *et al.* Accounting for the measurement error of spectroscopically inferred soil carbon data for improved precision of spatial predictions. *Science of the Total Environment*, v. 631, p. 377-389, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.302>. Acesso em: 22 de ago. de 2022.

SOMWARU, A.; VALDES, C. Brazil's beef production and its efficiency: A comparative study of scale economies. *GTAP Seventh Annual Conference on Global Economic Analysis: Trade, Poverty, and the Environment*, 2004. Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1860.pdf>. Acesso em: 15 de mar. de 2022.

SOTERRONI, A. *et al.* Expanding the Soy Moratorium to Brazil's Cerrado. *Science Advances*, v. 5, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav7336>. Acesso em: 16 de jun. de 2022.

THOMASSEN, M. A. *et al.* Attributional and consequential LCA of milk production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 13, n. 4, p. 339-349, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0007-y>. Acesso em: 12 de abr. de 2022.

UNEP, United Nations Environment Programme; CCAC, Climate and Clean Air Coalition. *Global Methane Assessment: Benefits and costs of mitigating methane emissions*. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP), 2021. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35913/GMA.pdf>. Acesso em: 10 de fev. de 2022.

VANGUELOVA *et al.* Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales—review and recommendations. *Environmental monitoring and assessment*, v. 188, n. 11, p. 1-24, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5608-5>. Acesso em: 20 de ago. de 2022.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafio estruturais logísticos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. *Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade*. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), p. 89-107, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Eustaquio-Vieira-Filho/publication/305489571_Agricultura_transformacao_produtiva_e_sustentabilidade

/links/5791144508ae0831552f95c0/Agricultura-transformacao-productiva-e-sustentabilidade.pdf#page=91. Acesso: 15 de jan. de 2022.

VILELA, L. *et al.* Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Circular Técnica 37, 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72180/1/cirtec-37.pdf>. Acesso em: 12 de ago. de 2021.

VILELA, L.; AYARZA, M. A. Ganho de peso de novilhas em pastagem de *Brachiaria decumbens* recuperada com *stylosanthes guianensis* cv. Mineirão. Brasília, DF: EMBRAPA, Boletim 69, 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24653/1/bolpd_69.pdf. Acesso em: 01 de set. de 2021.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; DE SOUSA, D. M. G. Efeito de Adubação Anual com Nitrogênio e Fósforo no Desempenho Produtivo de Bovinos em Recria em *Urochloa decumbens* cv. Basilisk. Planaltina, DF: EMBRAPA, Boletim de pesquisa e desenvolvimento 361, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221962/1/LOURIVAL-Bolpd-361-.pdf>. Acesso em: 18 de set. de 2021.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; DE SOUSA, D. M. G. Uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. *Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, p. 54-64, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1126986>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

XAVIER, J. H. V.; CALDEIRA-PIRES, A. Uso potencial da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) para a caracterização de impactos ambientais na agricultura. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 2, p. 311-341, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/30482/1/v21n2p311.pdf>. Acesso em: 03 de set. de 2021.

ZORTEA, R. B.; MACIEL, V. G.; PASSUELLO, A. Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach. *Sustainable Production and Consumption*, v. 13, p. 102-112, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.002>. Acesso em: 21 de out. de 2022.

Anexo I

Nesta seção, são apresentadas as tabelas com os parâmetros utilizados para quantificação das emissões de GEE, assim como os fatores de emissão, as frações de nitrogênio e os GWPs utilizados.

Tabela 42: Parâmetros para o gado na estratégia Sistema Extensivo.

Estratégia	Fase de produção	Parâmetro	Símbolo	Valores	Unidade	Referências	Volume e capítulo	Página ou tabela
Sistema Extensivo	Cria	Ganho médio diário	GMD	0,6	kg/dia	(PORTO, 2009)	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	3,5	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,5	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,6	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	75	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167

		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.64
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,31	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
Recria I e II		Ganho médio diário	GMD	0,3	kg/dia	(BRASIL, 2020b)	-	Tabela 12
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,36	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,2	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,6	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	50	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.64

		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N_{rate}	0,31	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coeficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coeficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
	Engorda	Ganho médio diário	GMD	0,45	kg/dia	(EUCLIDES et a., 1998; EUCLIDES et al., 2000; VILELA; AYARZA, 2000; SILVA et al., 2009)	-	-
		Coeficiente correspondente a alimentação do animal	C_a	0,36	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coeficiente de energia líquida para manutenção	C_{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y_m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,2	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS_{rate}	8,6	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	50	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	$m^3CH_4/kgVS$	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17

		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.64
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,31	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coeficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coeficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
	Rebanho reprodutivo	Ganho médio diário	GMD	0	kg/dia	-	-	-
		Coeficiente correspondente a alimentação do animal	Ca	0,36	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coeficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,37	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Coeficiente de gravidez	C _{pregnancy}	0,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.7
		Produção de leite por dia (<i>Tier 1a</i>)	Milk	1,8	kg/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Taxa de gordura no leite	Fat	4,5	%	(RESTLE <i>et al.</i> , 2003; CERDÓTES <i>et al.</i> , 2004)	-	-
		Taxa de conversão do metano	Y _m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,6	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,6	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	50	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16

		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.64
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,29	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1,2	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24

Tabela 43: Parâmetros para o gado nas estratégias intensivas.

Estratégia	Fase de produção	Parâmetro	Símbolo	Valores	Unidade	Referências	Volume e capítulo	Página ou tabela
Estratégias intensivas	Cria	Ganho médio diário	GMD	0,65	kg/dia	(PORTO, 2009)	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	3,5	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,5	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3

		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	75	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
		Semiconfinamento	Recria	Ganho médio diário	GMD	0,45	kg/dia	(EUCLIDES et al., 1998; EUCLIDES et al., 2000; VILELA; AYARZA, 2002)
Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a			0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5

		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C_{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y_m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,675	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS_{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	60	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	B_o	0,19	$m^3CH_4/kgVS$	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N_{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
	Engorda	Ganho médio diário	GMD	0,9	kg/dia	(DE SOUZA, 2011; GOMES <i>et al.</i> , 2015; PINTO <i>et al.</i> ,	-	-

						2017; BENTO <i>et al.</i> , 2019)		
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	6,3	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19

		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
Confinamento	Recria	Ganho médio diário	GMD	0,45	kg/dia	(EUCLIDES et a., 1998; EUCLIDES et al., 2000; VILELA; AYARZA, 2002)	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,675	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	60	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17

		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
	Engorda	Ganho médio diário	GMD	1,4	kg/dia	(SANTANA, <i>et al.</i> , 2013; GOMES <i>et al.</i> , 2015; IEG FNP, 2021b)	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y _m	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	80	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2

		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,18	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	1	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
ILP	Recria	Ganho médio diário	GMD	0,5	kg/dia	(EUCLIDES et a., 1998; EUCLIDES et al., 2000; VILELA; AYARZA, 2002)	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4

		Taxa de conversão do metano	Y_m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,675	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS_{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	60	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	B_o	0,19	$m^3CH_4/kgVS$	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N_{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24
	Engorda	Ganho médio diário	GMD	0,9	kg/dia	(DE SOUZA, 2011; GOMES <i>et al.</i> , 2015; PINTO <i>et al.</i> , 2017; BENTO <i>et al.</i> , 2019)	-	-

		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C_a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C_{fi}	0,322	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Taxa de conversão do metano	Y_m	6,3	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS_{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	B_o	0,19	$m^3CH_4/kgVS$	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17
		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N_{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24

Estratégias intensivas	Rebanho reprodutivo	Ganho médio diário	GMD	0	kg/dia	-	-	-
		Coefficiente correspondente a alimentação do animal	C _a	0,17	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.5
		Coefficiente de energia líquida para manutenção	C _{fi}	0,37	MJ/dia/kg	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.4
		Coefficiente de gravidez	C _{pregnancy}	0,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.7
		Produção de leite por dia	Milk	1,8	kg/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Taxa de gordura no leite	Fat	4,5	%	(RESTLE <i>et al.</i> , 2003; CERDÓTES <i>et al.</i> , 2004)	-	-
		Taxa de conversão do metano	Y _m	7	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.12
		Proteína crua na dieta	CP	9,65	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.A.3
		Razão de excreção de sólidos voláteis	VS _{rate}	8,1	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.13A
		Taxa de digestibilidade	DE	60	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.2
		Capacidade máxima de produção de metano por dejetos	Bo	0,19	m ³ CH ₄ /kgVS	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.16
		Fator de conversão do metano de acordo com sistema de manejo de resíduos	MCF	0,47	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.17

		Cinzas nas fezes	ASH	17,9	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.167
		Energia na urina como uma fração de GE	UE	4	%	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Equação 10.24
		Taxa de excreção de nitrogênio (default)	N _{rate}	0,36	1000kg/animal/dia	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Tabela 10.19
		Coefficiente para cada sexo - masculino	C	1,2	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.23
		Coefficiente para cada sexo - feminino	C	0,8	-	(IPCC, 2019)	Vol. 4, cap. 10	Página 10.24

Tabela 44: Fatores de emissão.

Fatores de emissão	Símbolo	Valor	Unidade	Referências	Detalhes
Fator de emissão de CO ₂ -C para fertilização por ureia	EF	0,2	t CO ₂ -C	IPCC, 2006	Página 10.32
Fator de emissão para N ₂ O do nitrogênio presente em fertilizantes sintéticos e orgânicos, resíduos de culturas e de nitrogênio mineralizado do solo mineral como resultado da perda de carbono orgânico do solo	EF ₁	0,01	kg N ₂ O-N/kg N	IPCC, 2019	Tabela 11.3
Fator de emissão para N ₂ O de urina e fezes depositados em pastagem por animais	EF _{3,PRP,CPP}	0,004	kg N ₂ O-N/kg N	IPCC, 2019	Tabela 11.1
Fator de emissão para N ₂ O da deposição atmosférica de nitrogênio em solos e na superfície da água	EF ₄	0,01	kg N ₂ O-N	IPCC, 2019	Tabela 11.3
Fator de emissão para N ₂ O de nitrogênio lixiviado ou escoado	EF ₅	0,011	kg N ₂ O-N	IPCC, 2019	Tabela 11.3

Fator de emissão de CO ₂ -C para calcário calcítico	EF _L	0,12	t CO ₂ -C	IPCC, 2006	Página 11.28
Fator de emissão de CO ₂ -C para calcário dolomítico	EF _D	0,13	t CO ₂ -C	IPCC, 2006	Página 11.28
Fator de emissão de metano de resíduos animais sob digestão anaeróbica	EF _{CH₄,AD}	2,8	g CH ₄ /kg VS	IPCC, 2019	Tabela 10.14
Fator de emissão de CH ₄ de resíduos animais depositados diretamente na pastagem	EF _{CH₄,PRP}	0,6	g CH ₄ /kg VS	IPCC, 2019	Tabela 10B.9
Fator de emissão de CO ₂ para a combustão móvel de veículos off-road	EF _{CO₂,CM}	74100	kg CO ₂ /TJ	IPCC, 2006	Tabela 3.3.1
Fator de emissão de CH ₄ para a combustão móvel de veículos off-road	EF _{CH₄,CM}	28,6	kg CH ₄ /TJ	IPCC, 2006	Tabela 3.3.1
Fator de emissão de N ₂ O para a combustão móvel de veículos off-road	EF _{N₂O,CM}	4,15	kg N ₂ O/TJ	IPCC, 2006	Tabela 3.3.1
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de diesel	EF _{CO₂,PR, diesel}	388,4	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de diesel	EF _{CH₄,PR, diesel}	1,31	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de N ₂ O para a produção de diesel	EF _{N₂O,PR, diesel}	0,01	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de calcário dolomítico	EF _{CO₂,PR, calc. dol.}	13,1	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de calcário dolomítico	EF _{CH₄,PR, calc. dol.}	0,02	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-

Fator de emissão de N ₂ O para a produção de calcário dolomítico	EF _{N2O,PR, calc. dol.}	0,001	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de calcário calcítico	EF _{CO2,PR, calc. cal.}	13,1	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de calcário calcítico	EF _{CH4,PR, calc. cal.}	0,02	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de N ₂ O para a produção de calcário calcítico	EF _{N2O,PR, calc. cal.}	0,001	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de ureia	EF _{CO2,PR, ureia}	1.100	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de ureia	EF _{CH4,PR, ureia}	4,99	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de N ₂ O para a produção de ureia	EF _{N2O,PR, ureia}	0,02	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de P ₂ O ₅	EF _{CO2,PR, superfost. simp.}	1,6	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de P ₂ O ₅	EF _{CH4,PR, superfost. simp.}	4,33	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de N ₂ O para a produção de P ₂ O ₅	EF _{N2O,PR, superfost. simp.}	0,05	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CO ₂ para a produção de K ₂ O	EF _{CO2,PR, cloreto de potássio}	1,79	g CO ₂ /kg de produto	ECOINVENT	-
Fator de emissão de CH ₄ para a produção de K ₂ O	EF _{CH4,PR, cloreto de potássio}	4,9	g CH ₄ /kg de produto	ECOINVENT	-

Fator de emissão de N ₂ O para a produção de K ₂ O	EF _{N2O,PR} , cloreto de potássio	0,06	g N ₂ O/kg de produto	ECOINVENT	-
--	--	------	----------------------------------	-----------	---

Tabela 45: Fração de nitrogênio.

Fração de nitrogênio	Símbolo	Valores	Unidade	Referências	Detalhes
Fração de nitrogênio orgânico de materiais fertilizantes aplicados (FON) e de urina e fezes depositadas por animais de pastagem (FPRP) que volatiliza como NH ₃ e NO _x	FRAC _{GASM}	0,21	-	IPCC, 2019	Tabela 11.3
Fração de todo o nitrogênio adicionado a/mineralizado em solos manejados que sofre lixiviação e escoamento	FRAC _{LEACH}	0,24	-	IPCC, 2019	Tabela 11.3
Fração de nitrogênio que volatiliza como NH ₃ e No _x (no caso, o fertilizante considerado foi a ureia)	FRAC _{GASF}	0,15	-	IPCC, 2019	Tabela 11.3

Tabela 46: GWPs dos respectivos GEE.

GEE	GWP (100 anos)	Referências	Detalhes
CO ₂	1	IPCC, 2021	Tabela 7.15
CH ₄ fóssil	29,8	IPCC, 2021	Tabela 7.15

CH4 não fóssil	27		Tabela 7.15
N2O	273	IPCC, 2021	Tabela 7.15

Anexo II

Nesta seção são indicadas as equações utilizadas para calcular as emissões de GEE.

1. Fermentação entérica

Energia líquida para manutenção animal (NE_m): energia líquida necessária para manter o animal em equilíbrio, onde a energia do corpo não é ganha nem perdida.

Equação 3:

$$NE_m = Cf_i \times (PM)^{0.75}$$

Onde:

NE_m: energia líquida para manutenção animal (MJ/cabeça/dia).

Cf_i: coeficiente que varia de 0,322 para o gado em geral e 0,386 para lactantes (MJ/cabeça/dia/kg).

PM: peso vivo médio para a categoria animal (kg).

Energia líquida para atividade animal (NE_a): energia líquida requerida para o animal realizar suas atividades essenciais (obtenção de alimento, água e abrigo). Não depende das características do alimento.

Equação 4:

$$NE_a = C_a \times NE_m$$

Onde:

NE_a: energia líquida para atividade animal (MJ/cabeça/dia).

C_a: coeficiente correspondente à situação de alimentação do animal. Um valor de 0,36 foi aplicado para pastagem extensiva.

NE_m: energia líquida para manutenção animal (MJ/cabeça/dia).

Energia líquida para lactação (NE_l): energia líquida requerida para a produção de leite.

Equação 5:

$$NE_l = Milk \times (1,47 \times 0,40 \times Fat)$$

Onde:

NE_l: energia líquida para lactação (MJ/cabeça/dia).

Fat: conteúdo de gordura no leite.

Energia líquida para o trabalho (NE_{work}): energia líquida requerida para a realização de trabalho de tração animal.

Equação 6:

$$NE_{work} = 0,10 \times NE_m \times H$$

Onde:

NE_{work}: energia líquida para o trabalho (MJ/cabeça/dia).

NE_m: energia líquida para manutenção animal (MJ/cabeça/dia).

H: horas trabalhadas por dia (horas/cabeça/dia).

Energia líquida para a gravidez (NE_p): energia requerida para sustentar uma gravidez.

Equação 7:

$$NE_p = C_{pregnancy} \times NE_m$$

Onde:

NE_p: energia líquida para o trabalho (MJ/cabeça/dia).

C_{pregnancy}: coeficiente de gravidez (0,10).

NE_m: energia líquida para manutenção animal (MJ/cabeça/dia).

Energia líquida para o crescimento (NE_g): energia líquida requerida para o crescimento do animal e ganho de peso.

Equação 8:

$$NE_g = 22,02 \times \left(\frac{BM}{C \times MW} \right)^{0,75} \times WG^{1,097}$$

Onde:

NE_g: energia líquida para o crescimento (MJ/cabeça/dia).

BM: o peso vivo médio dos animais na categoria animal selecionada (kg).

C: coeficiente com um valor de 0,8 para fêmeas, 1,0 para castrados e 1,2 para touros.

MW: o peso vivo final dos animais na categoria animal selecionada (kg).

WG: o ganho de peso médio diário dos animais na população (kg/cabeça/dia).

Proporção da energia líquida disponível na dieta para manutenção em relação à energia digestível (REM): a razão entre energia líquida disponível na dieta para manutenção em relação à energia digestível em bovinos, búfalos, ovinos e caprinos.

Equação 9:

$$REM = \left[1,123 - (4,092 \times 10^{-3} \times DE) + (1,126 \times 10^{-5} \times (DE)^2) - \left(\frac{25,4}{DE} \right) \right]$$

Onde:

REM: proporção da energia líquida disponível na dieta para manutenção em relação à energia digestível.

DE: digestibilidade do alimento expressa como uma fração da energia bruta.

Relação entre a energia líquida disponível para crescimento em uma dieta e a energia digestível consumida (REG): razão entre a energia líquida disponível para crescimento e a energia digestível consumida para bovinos, búfalos, ovinos e caprinos.

Equação 10:

$$REG = \left[1,164 - (5,16 \times 10^{-3} \times DE) + (1,308 \times 10^{-5} \times (DE)^2) - \left(\frac{37,4}{DE} \right) \right]$$

Onde:

REG: relação entre a energia líquida disponível para crescimento em uma dieta e a energia digestível consumida.

DE: digestibilidade do alimento expressa como uma fração da energia bruta.

Energia bruta (GE): energia bruta ingerida e disponível para o animal realizar diferentes atividades mecânicas e/ou fisiológicas

Equação 11:

$$GE = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{work} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g}{REG} \right)}{DE} \right]$$

Onde:

GE: energia bruta ingerida (MJ/cabeça/dia).

DE: digestibilidade do alimento expressa como uma fração da energia bruta.

REM: proporção da energia líquida disponível na dieta para manutenção em relação à energia digestível.

REG: relação entre a energia líquida disponível para crescimento em uma dieta e a energia digestível consumida.

NE_m: energia líquida para manutenção animal (MJ/cabeça/dia).

NE_a: energia líquida para atividade animal (MJ/cabeça/dia)

NE_l: energia líquida para lactação (MJ/cabeça/dia).

NE_{work}: energia líquida para o trabalho (MJ/cabeça/dia).

NE_p: energia líquida para a gravidez (MJ/cabeça/dia).

NE_g: energia líquida para o crescimento (MJ/cabeça/dia).

Fator de emissão de fermentação entérica (EF): fator de emissão da fermentação entérica para as categorias animais analisadas.

Equação 12:

$$EF_{(T)} = \frac{GE \times \left(\frac{Y_m}{100}\right) \times 365}{55,65}$$

Onde:

EF_(T): fator de emissão da fermentação entérica da categoria animal T (kg CH₄/cabeça/ano).

GE: energia bruta ingerida (MJ/cabeça/dia).

Y_m: fator de conversão do metano que indica a quantidade de energia bruta adquirida pela alimentação que é convertida em metano.

55,65: conteúdo de energia do metano (MJ/kg CH₄).

T: categoria animal.

Após calculado o fator de emissão acima, este foi multiplicado pelo número de animais na categoria T e pelo tempo de permanência destes em meses na categoria T, conforme indicado abaixo:

Emissões de metano da fermentação entérica ($CH_{4(\text{entérico})}$): Emissões anuais de metano da deposição de dejetos em pastagem.

Equação 13:

$$CH_{4(\text{entérico})} = N_{(T)} \times \left(\frac{TP_{(T)}}{12} \right) \times EF_{(T)}$$

Onde:

$CH_{4(\text{entérico})}$: emissões anuais de metano de fermentação entérica para cada categoria animal T (kg CH_4 /cabeça/ano).

$N_{(T)}$: quantidade de animais na categoria animal T.

$EF_{(T)}$: fator de emissão da fermentação entérica da categoria animal T (kg CH_4 /cabeça/ano).

TP: tempo em meses de permanência do animal na categoria T.

T: categoria animal.

2. Resíduos animais

Quantidade excretada de sólidos voláteis ($VS_{(T,P)}$): quantidade excretada de sólidos voláteis diariamente para cada categoria animal analisada.

Equação 14:

$$VS_{(T,P)} = \left(VS_{rate (T,P)} \times \frac{TAM_{(T,P)}}{1000} \right) \times 365$$

Onde:

$VS_{(T,P)}$: quantidade excretada de sólidos voláteis por dia para a categoria animal T, no sistema de produção P com base na matéria orgânica seca (kg VS/cabeça/dia).

$VS_{rate (T,P)}$: razão padrão de excreção de sólidos voláteis para a categoria animal T e o sistema de produção P, kg VS/dia (1000 kg de massa animal).

$TAM_{(T,P)}$: peso animal da categoria animal T e sistema de produção P, kg.

T: categoria animal T.

P: Sistema de produção P.

Fator de emissão de metano de dejetos ($EF_{(RA,T)}$): Fator de emissão de metano de dejetos depositados em pastagem para cada categoria animal.

Equação 15:

$$EF_{(T)} = (365 \times VS_{(T)}) \times [B_{o(T)} \times 0,67 \times \left(\frac{MCF_{S,K}}{100} \times AWMS_{(T,S,k)}\right)]$$

Onde:

$EF_{(RA,T)}$: fator de emissão de metano de dejetos depositados em pastagem para cada categoria animal T (kg CH₄/cabeça/ano).

$VS_{(T)}$: quantidade excretada de sólidos voláteis por dia com base na matéria orgânica seca para cada categoria animal T (kg VS/cabeça/dia).

B_o : capacidade máxima de produção de metano pelos dejetos (m³CH₄/kg VS).

MCF: fator de conversão do metano de acordo com sistema onde os dejetos são depositados no pasto.

$AWMS_{(T,S,k)}$: fração dos dejetos da categoria animal T manejada usando o sistema de gestão de dejetos animais S na região climática k, adimensional.

RA: resíduos animais.

T: categoria animal.

S: sistema de manejo de dejetos.

k: região climática k (não foi necessário determinar k, pois não houve diferença no valor de MCF entre as regiões climáticas para o sistema de manejo de resíduos adotado).

Em todos os cenários e categorias animais os resíduos foram depositados diretamente na pastagem, com exceção da fase de engorda na estratégia Confinamento. Após a quantificação de $VS_{(T,P)}$ e $EF_{(T)}$, foi possível determinar as emissões de metano provenientes de dejetos do gado seguindo a equação indicada abaixo.

Emissões de metano da deposição de dejetos em pastagem ($CH_{4(mm)}$): Emissões anuais de metano da deposição de dejetos em pastagem.

Equação 16:

$$CH_{4(mm)} = N_{(T)} \times \left(\frac{TP_{(T)}}{12} \right) \times EF_{(T)}$$

Onde:

$CH_{4(mm)}$: emissões anuais de metano de dejetos depositados em pastagem para cada categoria animal T (kg CH_4 /cabeça/ano).

$N_{(T)}$: quantidade de animais na categoria animal T.

$EF_{(T)}$: fator de emissão de metano de dejetos depositados em pastagem para cada categoria animal T (kg CH_4 /cabeça/ano).

TP: tempo em meses de permanência do animal na categoria T.

T: categoria animal.

Excreção média anual de nitrogênio por cabeça, categoria animal e sistema de produção ($N_{ex(T,P)}$): Excreção média anual de nitrogênio por cabeça, de acordo com a categoria animal T e o sistema de produção P.

Equação 17:

$$N_{ex(T,P)} = N_{rate(T,P)} \times \left(\frac{TAM_{(T,P)}}{1000} \right) \times 365$$

Onde:

$N_{ex(T,P)}$: excreção média anual de nitrogênio por cabeça da categoria animal T e do sistema de produção P (kg de nitrogênio/cabeça/ano).

$N_{rate(T,P)}$: taxa de excreção padrão de nitrogênio, em kg de nitrogênio para 1000 kg de massa animal, por dia para a categoria animal T no sistema de produção P.

$TAM_{(T,P)}$: massa animal média para o gado da categoria animal T e do sistema de produção P (kg/cabeça).

P: Sistema de produção P.

T: categoria animal.

Emissões diretas de N_2O do manejo de resíduos animais ($N_{2O_{D(mm)}}$): emissões diretas anuais de N_2O do manejo de resíduos animais para um determinado sistema de manejo de dejetos.

Equação 18:

$$N_2O_{D(mm)} = \left\{ \left[(N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AMWS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(s)} \right] \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28} \right\} \times \frac{TP}{12}$$

Onde:

$N_2O_{D(mm)}$: emissões diretas de N_2O do manejo de resíduos animais, kg N_2O /ano.

$N_{(T,P)}$: quantidade de animais na categoria animal T no sistema de produção P.

$Nex_{(T,P)}$: excreção média anual de nitrogênio por cabeça, categoria animal T e sistema de produção P (kg de nitrogênio/cabeça/ano).

$AMWS_{(T,S,P)}$: fração dos dejetos da categoria animal manejada usando o sistema de gestão de dejetos animais S no sistema de produção P, adimensional.

$N_{cdg(s)}$: entrada anual de nitrogênio via codigestão, onde o sistema (s) se refere (s) exclusivamente para digestão anaeróbica.

$EF_{3(S)}$: Fator de emissão para as emissões de N_2O de dejetos no sistema de gestão S.

TP: tempo em meses de permanência do animal na categoria T.

S: sistema de gestão de resíduos animais, que pode ser deposição direta em pastagem e piquete ou deposição em biodigestor, no caso da categoria engorda na estratégia Confinamento.

P: Sistema de produção P.

T: categoria animal T.

Emissões indiretas de N_2O por volatilização de resíduos animais ($N_2O_{G(mm)}$):

emissões indiretas anuais de N_2O por volatilização de resíduos animais em um determinado sistema de manejo de dejetos.

$$N_2O_{G(mm)} = \left\{ \left[(N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AMWS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(s)} \right] \times FRAC_{GasMS(T,S)} \right\} \times EF_4 \times \frac{44}{28} \times \frac{TP}{12}$$

$N_2O_{G(mm)}$: emissões indiretas anuais de N_2O por volatilização de resíduos animais em um determinado sistema de manejo de dejetos, kg N_2O /ano.

$N_{(T,P)}$: quantidade de animais na categoria animal T no sistema de produção P.

$N_{ex(T,P)}$: excreção média anual de nitrogênio por cabeça, categoria animal T e sistema de produção P (kg de nitrogênio/cabeça/ano).

$AMWS_{(T,S,P)}$: fração dos dejetos da categoria animal manejada usando o sistema de gestão de dejetos animais S no sistema de produção P, adimensional.

$N_{cdg(s)}$: entrada anual de nitrogênio via codigestão, onde o sistema (s) se refere (s) exclusivamente para digestão anaeróbica.

$FRAC_{GasMS(T,S)}$: fração de nitrogênio de esterco manejado para gado categoria T que volatiliza como NH_3 e NO_x no sistema de gestão de resíduos animais S.

EF_4 : fator de emissão para emissões de N_2O por deposição atmosférica de nitrogênio em solos e superfícies de água, kg N_2O-N (kg NH_3-N + NO_x-N volatilizado).

TP: tempo em meses de permanência do animal na categoria T.

S: sistema de gestão de resíduos animais, que pode ser deposição direta em pastagem e piquete ou deposição em biodigestor, no caso da categoria engorda na estratégia Confinamento.

P: Sistema de produção P.

T: categoria animal T.

44/28: fator de conversão para N_2O .

Emissões indiretas de N_2O por lixiviação e escoamento dos resíduos animais

$(N_2O_{L(mm)})$: emissões indiretas anuais de N_2O por lixiviação e escoamento de resíduos animais em um determinado sistema de manejo de dejetos.

$$N_2O_{L(mm)} = \left\{ \left[(N_{(T,P)} \times Nex_{(T,P)} \times AMWS_{(T,S,P)}) + N_{cdg(s)} \right] \times FRAC_{LeachMS(T,S)} \right\} \\ \times EF_5 \times \frac{44}{28} \times \frac{TP}{12}$$

$N_2O_{L(mm)}$: emissões indiretas anuais de N_2O por lixiviação e escoamento de resíduos animais em um determinado sistema de manejo de dejetos, kg N_2O /ano.

$N_{(T,P)}$: quantidade de animais na categoria animal T no sistema de produção P.

$N_{ex(T,P)}$: excreção média anual de nitrogênio por cabeça, categoria animal T e sistema de produção P (kg de nitrogênio/cabeça/ano).

$AMWS_{(T,S,P)}$: fração dos dejetos da categoria animal manejada usando o sistema de gestão de dejetos animais S no sistema de produção P, adimensional.

$N_{cdg(s)}$: entrada anual de nitrogênio via codigestão, onde o sistema (s) se refere (s) exclusivamente para digestão anaeróbica.

$FRAC_{LeachMS(T,S)}$: fração de nitrogênio de esterco manejado para gado categoria T que é lixiviado no sistema de gestão de resíduos animais S.

EF_5 : fator de emissão para emissões de N_2O por lixiviação e escoamento de nitrogênio, kg N_2O-N / kg N lixiviado e/ou escoado.

TP: tempo em meses de permanência do animal na categoria T.

S: sistema de gestão de resíduos animais, que pode ser deposição direta em pastagem e piquete ou deposição em biodigestor, no caso da categoria engorda na estratégia Confinamento.

P: Sistema de produção P.

T: categoria animal T.

44/28: fator de conversão para N_2O .

3. Fertilização

Emissões diretas de N_2O da fertilização ($N_{2O_{D(fertilização)}}$): Emissões diretas anuais de N_2O produzidas a partir de solos manejados. Os valores dos fatores de emissão e de outros parâmetros utilizados nas equações abaixo, estão indicados no

Equação 19:

$$N_{2O_{D(fertilização)}} = [(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1] \times \frac{44}{28} \times A$$

Onde:

$N_{2O_{D(fertilização)}}$: emissões diretas anuais de N_2O produzidas a partir de solos manejados, kg N_2O .

F_{SN} : quantidade de nitrogênio presente em fertilizantes sintéticos (nesse caso, ureia) aplicada anualmente, kg N/ano.

F_{ON} : quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado aos solos, kg N/ano.

EF_1 : fator de emissão para N_2O do nitrogênio presente em fertilizantes sintéticos e orgânicos, resíduos de culturas e de nitrogênio mineralizado do solo mineral como resultado da perda de carbono orgânico do solo, kgN_2O-N/kgN .

A: área de produção da pastagem, hectares.

Emissões diretas de CO_2 da fertilização ($CO_{2(fertilização)}$): Emissões diretas anuais de CO_2 da aplicação de ureia.

Equação 20:

$$CO_{2(fertilização)} = M \times EF_{ureia} \times \frac{44}{12} \times A$$

Onde:

$CO_{2(fertilização)}$: emissões diretas anuais de CO_2 da aplicação de ureia, kg CO_2 .

M: quantidade de ureia aplicada anualmente por hectare, kg ureia/hectare.

EF_{ureia} : fator de emissão de C_2O-C para fertilização por ureia, kg C/kg de ureia.

A: área de produção da pastagem, hectares.

Emissões indiretas de N_2O por volatilização ($N_2O_{(ATD)}$): Emissões indiretas anuais de N_2O por volatilização produzidas a partir de solos manejados.

Equação 21:

$$N_2O_{(ATD)} = \{[F_{SN} \times Frac_{GASF}] + [(F_{ON}) \times Frac_{GASM}]\} \times EF_4 \times A \times \frac{44}{28}$$

Onde:

$N_2O_{(ATD)}$: quantidade anual de N_2O produzida a partir da deposição atmosférica de N volatilizado de solos manejados, kg N_2O /ano.

F_{SN} : quantidade de nitrogênio presente em fertilizantes sintéticos (nesse caso, ureia) aplicada anualmente, kg N/ano.

$Frac_{GASF}$: fração de fertilizante sintético N que volatiliza como NH_3 e NO_x , kg N volatilizado (kg de N aplicado)/ano.

F_{ON} : quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado aos solos, kg N/ano.

$Frac_{GASM}$: Fração de materiais fertilizantes nitrogenados orgânicos aplicados (F_{ON}) e de urina e esterco N depositados por animais em pastejo (F_{PRP}) que volatiliza como NH_3 e NO_x , kg N volatilizado (kg de N aplicado ou depositado na área).

EF_4 : fator de emissão para emissões de N_2O por deposição atmosférica de N em solos e água superfícies, kg N- N_2O volatilizado).

A: área de produção da pastagem e/ou lavoura, hectares.

Emissões indiretas de N_2O por escoamento e lixiviação ($N_2O_{(L)}$): Emissões indiretas anuais de N_2O por lixiviação e escoamento produzidas a partir de solos manejados.

Equação 22:

$$N_2O_{(L)} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_5 \times A \times \frac{44}{28}$$

Onde:

$N_2O_{(L)}$: quantidade anual de N_2O produzida a partir de lixiviação e escoamento de N aplicados solos manejados, kg N_2O /ano.

F_{SN} : quantidade de nitrogênio presente em fertilizantes sintéticos (nesse caso, ureia) aplicada anualmente, kg N/ano.

F_{ON} : quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado aos solos, kg N/ano.

F_{CR} : quantidade de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N, e da renovação de forragem/pastagem, devolvidos aos solos anualmente em regiões onde a lixiviação/escorrimento ocorre, kg N/ano.

F_{SOM} : quantidade anual de N mineralizada em solos minerais associada à perda de C da matéria orgânica do solo como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra em regiões onde ocorre lixiviação/escoamento, kg N/ano.

EF_5 : fator de emissão para emissões de N_2O por lixiviação e escoamento, kg N_2O /ano.

A: área de produção da pastagem e/ou lavoura, hectares.

4. Calagem

Emissões CO₂ proveniente da calagem (CO_{2(calagem)}): Emissões diretas anuais de CO₂ da aplicação de calagem.

Equação 23:

$$CO_{2(calagem)} = [(M_L \times EF_L) + (M_D \times EF_D)] \times \frac{44}{12} \times A$$

Onde:

CO_{2(fertilização)}: emissões diretas anuais de CO₂ da aplicação de calagem, kg CO₂.

M_L: quantidade de calcário calcítico aplicado anualmente por hectare, kg CaCO₃/hectare/ano.

M_D: quantidade de calcário calcítico aplicado anualmente por hectare, kg (CaMg(CO₃)₂)/hectare/ano.

EF_L: fator de emissão de C₂O-C para calagem com calcário calcítico, kg C/kg CaCO₃.

EF_D: fator de emissão de C₂O-C para calagem com calcário dolomítico, kg C/kg (CaMg(CO₃)₂).

A: área de produção da pastagem, hectares.

5. Combustão móvel

Emissões de GEE provenientes da combustão móvel (GEE_(combustão móvel)): Emissões diretas anuais de CO₂, CH₄ e N₂O da combustão móvel em maquinários off-road. A equação abaixo foi aplicada para cada um dos 3 GEE emitidos durante a combustão móvel, considerando seus respectivos fatores de emissão.

Equação 24:

$$GEE_{(combustão\ móvel)} = C_{diesel} \times EF_{GEE} \times A$$

Onde:

GEE_(combustão móvel): emissões de gases de efeito estufa derivados da combustão móvel em maquinários *off-road*, kg CO₂.

C_{diesel} : consumo de óleo diesel por maquinários *off-road*, TJ.

EF_{GEE} : fator de emissão de CO_2 , CH_4 ou N_2O para maquinários *off-road*, kg CO_2/TJ .

A: área de produção da pastagem e/ou lavoura, hectares.

6. Carbono orgânico no solo

Variação anual dos estoques de C orgânico em solos minerais ($\Delta C_{Mineral}$): acúmulo ou decréscimo de carbono orgânico em solo mineral médio anual.

Equação 25:

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

Onde:

$\Delta C_{Mineral}$: variação anual dos estoques de C orgânico em solos minerais, toneladas C/ano.

SOC_0 : estoque de C orgânico do solo mineral ($SOC_{Mineral}$) no último ano de um período de inventário, toneladas C/ano.

$SOC_{(0-T)}$: estoque de C orgânico do solo mineral ($SOC_{Mineral}$) no início do período de inventário, toneladas C/ano.

D: Dependência do tempo dos fatores de mudança do estoque de C orgânico do solo mineral, que é o tempo padrão período de transição entre os valores SOC de equilíbrio. Comumente 20 anos, ano.

T: número de anos em um único período de inventário, ano.

A: área de produção da pastagem e/ou lavoura, hectares.

Estoque total de C orgânico do solo mineral (SOC): estoque total de C orgânico do solo mineral em um tempo definido, podendo ser SOC_0 ou $SOC_{(0-T)}$.

Equação 26:

$$SOC = SOC_{Ref} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_i \times A$$

Onde:

SOC: estoque total de C orgânico do solo mineral em um momento definido. Pode ser SOC₀ ou SOC_(0-T), toneladas de C.

SOC_{Ref}: estoque de C orgânico do solo para solos minerais na condição de referência, natural, toneladas C/ha.

F_{LU}: fator de mudança de estoque para sistemas ou subsistemas de uso da terra orgânicos C do solo mineral para um uso particular do solo, adimensional.

F_{MG}: fator de mudança de estoque para solo mineral orgânico C para regime de manejo, adimensional.

F_i: fator de mudança de estoque para solo mineral orgânico C para a entrada de corretivos orgânicos, adimensional.

A: área de produção da pastagem e/ou lavoura, hectares.

Emissões ou remoções de CO₂ do solo mineral CO₂(SOC): emissões ou remoções de CO₂ do solo mineral devido à mudanças na sua capacidade de estocar carbono orgânico.

Equação 27:

$$CO_{2(SOC)} = SOC \times \frac{44}{12}$$

Onde:

SOC: estoque total de C orgânico do solo mineral em um momento definido. Pode ser SOC₀ ou SOC_(0-T), toneladas de C.

44/12: fator de conversão para CO₂.

7. Produção de fertilizantes sintéticos

Emissões indiretas de CO₂, CH₄ e N₂O na produção de fertilizantes (GEE_(FP)):

Emissões indiretas anuais de CO₂, CH₄ e N₂O na produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos e fosfatados.

Equação 27:

$$GEE_{(PF)} = \sum [F_{N,P,K} \times (EF_{CO_2,N,P,K} + EF_{CH_4,N,P,K} + EF_{N_2O,N,P,K})]$$

Onde:

$GEE_{(PF)}$: emissões anuais de CO_2 , CH_4 e N_2O a partir da produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos e fosfatados, kg CO_2 , CH_4 e N_2O /ano.

$F_{N,P,K}$: quantidade de fertilizante nitrogenado, potássico ou fosfatado aplicada anualmente, kg N, P ou K/ano.

$EF_{CO_2,N,P,K}$: fator de emissão de CO_2 para a produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos ou fosfatados, kg CO_2 /ano.

$EF_{CH_4,N,P,K}$: fator de emissão de CH_4 para a produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos ou fosfatados, kg CH_4 /ano.

$EF_{N_2O,N,P,K}$: fator de emissão de N_2O para a produção de fertilizantes nitrogenados, potássicos ou fosfatados, kg N_2O /ano.

8. Produção de calcário

Emissões indiretas de CO_2 , CH_4 e N_2O na produção de calcário ($GEE_{(PC)}$):

Emissões indiretas anuais de CO_2 , CH_4 e N_2O na produção de calcário calcítico e/ou dolomítico.

Equação 28:

$$GEE_{(PC)} = \sum [C_{C,D} \times (EF_{CO_2,C,D} + EF_{CH_4,C,D} + EF_{N_2O,C,D})]$$

Onde:

$GEE_{(PC)}$: emissões anuais de CO_2 , CH_4 e N_2O a partir da produção de calcário calcítico e/ou dolomítico, kg CO_2 , CH_4 e N_2O /ano.

$C_{C,D}$: quantidade de calcário calcítico e/ou dolomítico aplicada anualmente, kg $CaCO_3$ ou $CaMg(CO_3)_2$ /ano.

$EF_{CO_2,C,D}$: fator de emissão de CO_2 para a produção de calcário calcítico e/ou dolomítico, kg CO_2 /ano.

$EF_{CH_4,C,D}$: fator de emissão de CH_4 para a produção de calcário calcítico e/ou dolomítico, kg CH_4 /ano.

$EF_{N_2O,C,D}$: fator de emissão de N_2O para a produção de calcário calcítico e/ou dolomítico, kg N_2O /ano.

9. Produção de combustível

Emissões indiretas de CO_2 , CH_4 e N_2O na produção de combustível
($GEE_{(PComb)}$): Emissões indiretas anuais de CO_2 , CH_4 e N_2O na produção de combustível.

Equação 29:

$$GEE_{(PComb)} = \sum [C_D \times 0,84 \times (EF_{CO_2,D} + EF_{CH_4,D} + EF_{N_2O,D})]$$

Onde:

$GEE_{(PComb)}$: emissões anuais de CO_2 , CH_4 e N_2O a partir da produção de combustível fóssil, kg CO_2 , CH_4 e N_2O /ano.

C_D : quantidade de combustível fóssil D produzida anualmente para uso em maquinário, kg D/ano.

$EF_{CO_2,D}$: fator de emissão de CO_2 para a produção de combustível fóssil D, kg CO_2 /ano.

$EF_{CH_4,C,D}$: fator de emissão de CH_4 para a produção de combustível fóssil D, kg CH_4 /ano.

$EF_{N_2O,C,D}$: fator de emissão de N_2O para a produção de combustível fóssil D, kg N_2O /ano.

D: diesel, l/ano.

0,84: densidade do óleo diesel, kg/L.

Anexo III

Abaixo, a Figura 35, resume os processos associados à produção do produto principal e dos coprodutos das estratégias desenvolvidas.

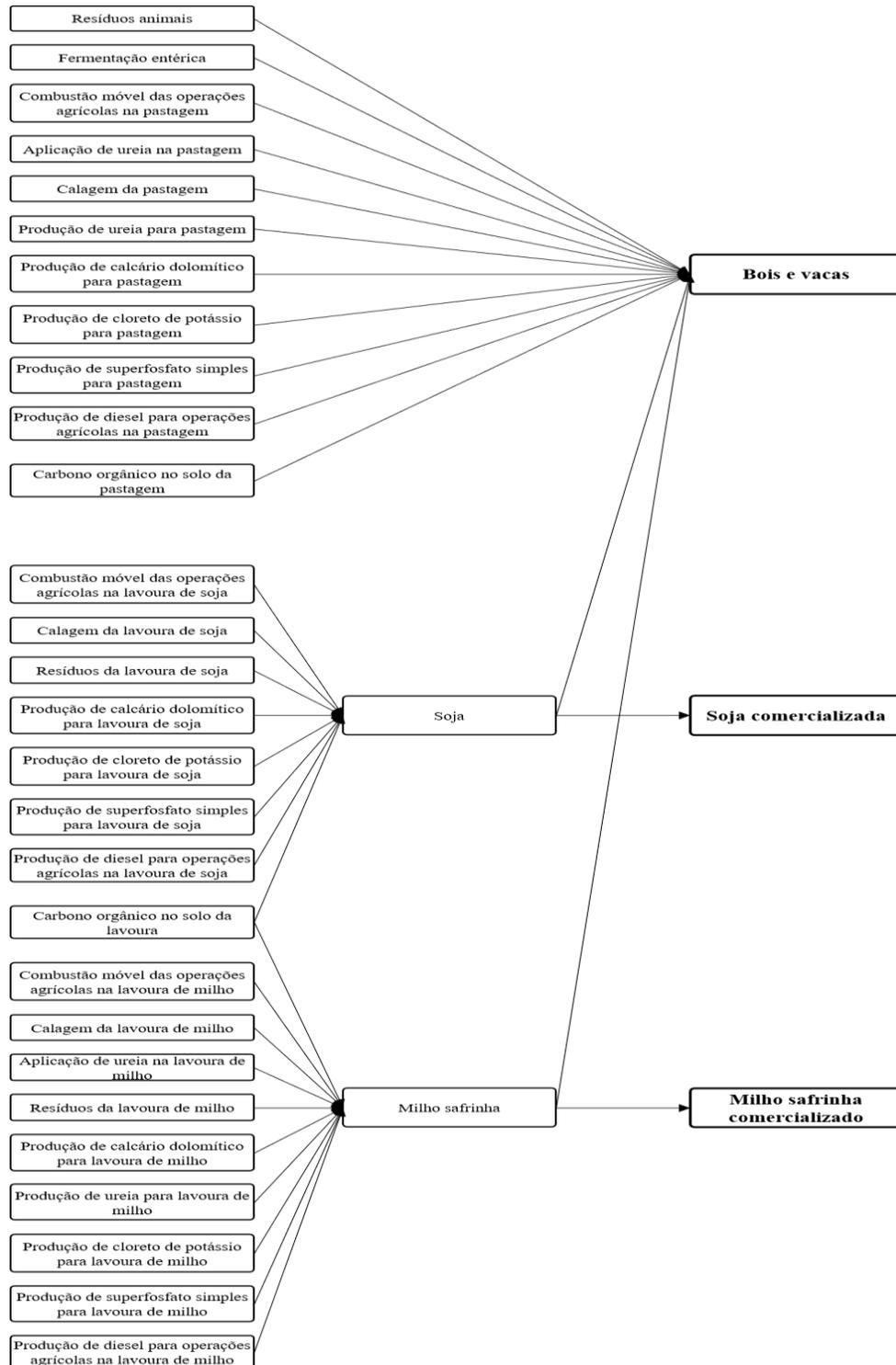


Figura 35: Processos envolvidos na quantificação das emissões dos produtos das estratégias.

Anexo IV

Nesta seção são elencados os preços do maquinário, dos implementos, dos insumos, das cabeças de gado compradas e dos produtos vendidos.

Tabela 47: Valores de máquinas e implementos próprios.

Máquinas e implementos	Valores (R\$)
Trator	331.597
Grade aradora pesada	62.131
Grade aradora intermediária	60.529
Grade niveladora	58.927
Colheitadeira	1.029.156
Plantadeira	396.026
Pulverizador	124.499
Caminhonete	125.225
Distribuidor de adubo e calcário	28.282

Tabela 48: Valores de aluguel e máquinas e implementos.

Máquinas e implementos	Valores (R\$/h)
Grade aradora pesada	153
Grade aradora intermediária	151
Grade niveladora	156
Colheitadeira	150
Plantadeira	64

Tabela 49: Valores dos animais comprados para reposição nas estratégias intensivas.

Animais comprados	Valores	Unidade
Touros	10.409	R\$/cabeça
Matrizes (Vacas paridas com bezerro)	3.047	R\$/cabeça
Garrotes	2.219	R\$/cabeça
Novilhas	1.691	R\$/cabeça
Bois	2.707	R\$/cabeça
Vacas	2.052	R\$/cabeça

Tabela 50: Valores dos insumos para produção de pastagem, soja e milho.

Insumos	Valores	Unidade
Calcário calcítico	173	R\$/t
Calcário dolomítico	192	R\$/t
Ureia	2.676	R\$/t
Cloreto de potássio	2.683	R\$/t
Superfosfato simples	1.737	R\$/t

Suplem. mineral	2.553	R\$/t
Saúde (medicamentos + vacina)	5,4	-
Combustível (diesel)	5,6	R\$/L
Sementes (pastagem)	25.000	R\$/t
Herbicida (pastagem)	37	R\$/L
Sementes (soja)	5.000	R\$/t
Inoculantes (soja)	5	R\$/ha
Tratamento industrial (soja)	83	R\$/ha
Herbicida (soja)	29	R\$/L
Inseticida (soja)	79	R\$/L
Fungicida (soja)	263	R\$/t
Sementes (milho)	350	R\$/t
Herbicida (milho)	27	R\$/L
Inseticida (milho)	241	R\$/L
Fungicida (milho)	57	R\$/t

Tabela 51: Dados do cercamento.

Cercamento	Valores	Unidade
Custo de implantação	11.682	R\$/km
Vida útil (anos)	11	anos
Manutenção anual (R\$/km)	643	R\$/km
Depreciação anual (R\$/km)	1.062	R\$/km

Tabela 52: Valores de produtos vendidos.

Produtos	Valores (R\$)	Unidade
Boi	235	R\$/@
Vaca	216	R\$/@
Soja em grãos	1,92	R\$/kg
Milho em grãos	0,5	R\$/kg

Tabela 53: Valores de salários, encargos sociais e trabalhistas, quantidade de funcionários, relação UA/funcionário para a pecuária.

Salários e encargos sociais e trabalhistas	Valores	Unidade
Salário	1.045	R\$/mês
Encargos sociais e trabalhistas	45,59	%
Número de funcionários – Sistema Extensivo larga escala	12	-
Número de funcionários – Sistema Extensivo média escala	12	-
Número de funcionários – Sistema Extensivo pequena escala	2	-

Número de funcionários – Semiconfinamento larga escala	34	-
Número de funcionários – Semiconfinamento média escala	19	-
Número de funcionários – Semiconfinamento pequena escala	8	-
Número de funcionários – Confinamento larga escala	37	-
Número de funcionários – Confinamento média escala	22	-
Número de funcionários – Confinamento pequena escala	9	-
Número de funcionários – ILP larga escala	27	-
Número de funcionários – ILP média escala	15	-
Número de funcionários – ILP pequena escala	7	-
Relação UA/funcionário - Sistema Extensivo larga escala	5000/16	UA/ funcionário
Relação UA/funcionário - Sistema Extensivo média e pequena escalas	500/3	UA/ funcionário
Relação UA/funcionário – Estratégias intensivas larga e média escalas	5000/21	UA/ funcionário
Relação UA/funcionário – Estratégias intensivas pequena escala	500/5	UA/ funcionário

Anexo V

Nesta seção são elencados os resultados da análise de sensibilidade, que geraram diferentes pegadas de GEE, indicadores financeiros e custos de abatimento.

Tabela 54: Variação da pegada de GEE da estratégia Sistema Extensivo conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Emissões de GEE (t CO ₂ e)	Pegada de GEE	Variação da pegada de GEE
Sistema Extensivo	Pequena	EF _{CH4}	15%	1523,57	73,51	12%
			-15%	1128,99	57,25	-12%
		N _{ex}	15%	1364,64	65,84	1%
			-15%	1345,47	64,92	-1%
		F _{SN}	15%	1355,86	65,42	0%
			-15%	1354,25	65,34	0%
	Média	EF _{CH4}	15%	8382,35	73,60	13%
			-15%	6530,35	57,34	-12%
		N _{ex}	15%	7510,59	65,95	1%
			-15%	7402,10	65,00	-1%
		F _{SN}	15%	7460,76	65,51	0%
			-15%	7451,94	65,43	0%

	Larga	EF _{CH4}	15%	15223,26	73,51	12%
			-15%	11855,62	57,25	-12%
		N _{ex}	15%	13635,22	65,84	1%
			-15%	13443,66	64,92	-1%
		F _{SN}	15%	13547,47	65,42	0%
			-15%	13531,42	65,34	0%

Tabela 55: Variação da pegada de GEE da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Emissões de GEE (t CO ₂ e) sem COS	Pegada de GEE sem COS	Variação da pegada de GEE sem COS	Emissões de GEE (t CO ₂ e) com COS	Pegada de GEE com COS	Variação da pegada de GEE com COS
Semiconfinamento	Pequena	EF _{CH4}	15%	2.649.324,44	37,64	9%	2.220.435,27	31,52	11%
			-15%	2.198.470,50	31,22	-9%	1.769.581,32	25,10	-11%
		N _{ex}	15%	2.446.440,31	34,75	1%	2.017.551,13	28,63	1%
			-15%	2.401.354,63	34,11	-1%	1.972.465,45	27,99	-1%
		F _{SN}	15%	2.514.861,85	35,73	4%	2.085.972,67	29,61	5%
			-15%	2.332.933,09	33,14	-4%	1.904.043,92	27,02	-5%
		SOC _R EF	15%	2.423.897,47	34,43	0%	1.930.674,92	27,39	-3%
			-15%	2.423.897,47	34,43	0%	2.059.341,67	29,23	3%
	Média	EF _{CH4}	15%	14.563.965,87	37,64	9%	12.206.260,17	31,52	11%
			-15%	12.085.514,61	31,22	-9%	9.727.808,91	25,10	-11%
		N _{ex}	15%	13.448.663,59	34,75	1%	11.090.957,89	28,63	1%
			-15%	13.200.816,89	34,11	-1%	10.843.111,19	27,99	-1%
		F _{SN}	15%	13.824.793,03	35,73	4%	11.467.087,33	29,61	5%
			-15%	12.824.687,45	33,14	-4%	10.466.981,75	27,02	-5%

Larga	SOC _R EF	15%	13.324.740,24	34,43	0%	10.613.378,69	27,39	-3%
		-15%	13.324.740,24	34,43	0%	11.320.690,40	29,23	3%
	EF _{CH4}	15%	26.463.332,03	37,65	9%	22.177.994,59	31,53	11%
		-15%	21.958.528,92	31,23	-9%	17.673.191,47	25,11	-11%
	N _{ex}	15%	24.436.172,06	34,76	1%	20.150.834,61	28,64	1%
		-15%	23.985.688,89	34,12	-1%	19.700.351,45	28,00	-1%
	F _{SN}	15%	25.119.820,39	35,74	4%	20.834.482,95	29,61	5%
		-15%	23.302.040,56	33,15	-4%	19.016.703,11	27,02	-5%
	SOC _R EF	15%	24.210.930,48	34,44	0%	19.282.792,41	27,40	-3%
		-15%	24.210.930,48	34,44	0%	20.568.393,65	29,24	3%

Tabela 56: Variação da pegada de GEE da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Emissões de GEE (t CO ₂ e) sem COS	Pegada de GEE sem COS	Variação da pegada de GEE sem COS	Emissões de GEE (t CO ₂ e) com COS	Pegada de GEE com COS	Variação da pegada de GEE com COS
Confinamento	Pequena	EF _{CH4}	15%	2.726.549,11	33,22	10%	2.341.847,75	28,45	11%
			-15%	2.253.111,43	27,42	-10%	1.868.410,07	22,64	-11%
		N _{ex}	15%	2.511.176,78	30,58	1%	2.126.475,43	25,81	1%
			-15%	2.468.483,75	30,06	-1%	2.083.782,40	25,28	-1%
		F _{SN}	15%	2.573.024,62	31,34	3%	2.188.323,26	26,56	4%
			-15%	2.406.635,92	29,30	-3%	2.021.934,57	24,52	-4%
		SOC _R EF	15%	2.489.830,27	30,32	0%	2.047.423,71	24,83	-3%
			-15%	2.489.830,27	30,32	0%	2.162.834,12	26,26	3%
	Média	EF _{CH4}	15%	14.983.036,54	33,22	10%	12.869.010,98	28,45	11%
			-15%	12.381.383,76	27,42	-10%	10.267.358,20	22,64	-11%

		N _{ex}	15%	13.799.514,33	30,58	1%	11.685.488,77	25,81	1%
			-15%	13.564.905,97	30,06	-1%	11.450.880,41	25,28	-1%
		F _{SN}	15%	14.139.382,89	31,34	3%	12.025.357,33	26,56	4%
			-15%	13.225.037,41	29,30	-3%	11.111.011,85	24,52	-4%
		SOC _R EF	15%	13.682.210,15	30,32	0%	11.251.080,76	24,83	-3%
			-15%	13.682.210,15	30,32	0%	11.885.288,42	26,26	3%
	Larg a	EF _{CH4}	15%	27.246.015,75	33,22	10%	23.401.750,04	28,45	11%
			-15%	22.515.020,64	27,42	-10%	18.670.754,92	22,64	-11%
		N _{ex}	15%	25.093.830,86	30,58	1%	21.249.565,15	25,81	1%
			-15%	24.667.205,52	30,06	-1%	20.822.939,81	25,28	-1%
		F _{SN}	15%	25.711.867,41	31,34	3%	21.867.601,69	26,56	4%
			-15%	24.049.168,98	29,30	-3%	20.204.903,27	24,52	-4%
		SOC _R EF	15%	24.880.518,19	30,32	0%	20.459.612,62	24,83	-3%
			-15%	24.880.518,19	30,32	0%	21.612.892,34	26,26	3%

Tabela 57: Variação da pegada de GEE da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estrat égia	Esca la	Parâ metro	Sensibi lidade	Emissões de GEE (t CO ₂ e) sem COS	Pegada de GEE sem COS	Variação da pegada de GEE sem COS	Emissões de GEE (t CO ₂ e) com COS	Pegada de GEE com COS	Variação da pegada de GEE com COS
ILP	Peq uena	EF _{CH4}	15%	1.874.041,93	33,56	11%	1.652.214,36	25,10	15%
			-15%	1.551.295,63	26,90	-11%	1.329.468,06	18,45	-15%
		N _{ex}	15%	1.728.580,77	30,56	1%	1.506.753,20	22,10	2%
			-15%	1.696.756,80	29,90	-1%	1.474.929,23	21,45	-2%
		F _{SN}	15%	1.743.050,88	30,86	2%	1.521.223,31	22,40	3%
			-15%	1.682.286,69	29,61	-2%	1.460.459,12	21,15	-3%

		SOC _R								
		EF	15%	1.712.668,78	30,23	0%	1.457.567,08	20,51	-6%	
			-15%	1.712.668,78	30,23	0%	1.524.115,35	23,04	6%	
		F _I	15%	1.712.668,78	30,23	0%	1.295.209,36	15,30	-30%	
			-15%	1.712.668,78	30,23	0%	1.686.473,06	28,25	30%	
		Média	EF _{CH4}	15%	10.307.230,63	33,56	11%	9.087.178,99	25,10	15%
	-15%			8.532.125,98	26,90	-11%	7.312.074,35	18,45	-15%	
	N _{ex}		15%	9.507.194,21	30,56	1%	8.287.142,58	22,10	2%	
			-15%	9.332.162,40	29,90	-1%	8.112.110,77	21,45	-2%	
	F _{SN}		15%	9.586.779,83	30,86	2%	8.366.728,20	22,40	3%	
			-15%	9.252.576,78	29,61	-2%	8.032.525,14	21,15	-3%	
	SOC _R		EF	15%	9.419.678,30	30,23	0%	8.016.618,93	20,51	-6%
			-15%	9.419.678,30	30,23	0%	8.382.634,42	23,04	6%	
	F _I		15%	9.419.678,30	30,23	0%	7.123.651,49	15,30	-30%	
			-15%	9.419.678,30	30,23	0%	9.275.601,86	28,25	30%	
	Larga		EF _{CH4}	15%	18.740.419,32	33,56	11%	16.522.143,63	25,10	15%
				-15%	15.512.956,33	26,90	-11%	13.294.680,64	18,45	-15%
		N _{ex}	15%	17.285.807,66	30,56	1%	15.067.531,96	22,10	2%	
			-15%	16.967.568,00	29,90	-1%	14.749.292,30	21,45	-2%	
		F _{SN}	15%	17.430.508,79	30,86	2%	15.212.233,09	22,40	3%	
			-15%	16.822.866,87	29,61	-2%	14.604.591,17	21,15	-3%	
		SOC _R	EF	15%	17.126.687,83	30,23	0%	14.575.670,78	20,51	-6%
			-15%	17.126.687,83	30,23	0%	15.241.153,49	23,04	6%	
		F _I	15%	17.126.687,83	30,23	0%	12.952.093,62	15,30	-30%	
-15%			17.126.687,83	30,23	0%	16.864.730,65	28,25	30%		

Tabela 58: Variação do custo de abatimento da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Variação do custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS	Variação do custo de abatimento com COS
Semiconfinamento	pequena	EF _{CH4}	15%	R\$ 24,46	12%	R\$ 20,04	9%
			-15%	R\$ 19,86	-9%	R\$ 16,84	-8%
		N _{ex}	15%	R\$ 22,15	1%	R\$ 18,46	1%
			-15%	R\$ 21,69	-1%	R\$ 18,14	-1%
		F _{SN}	15%	R\$ 22,88	4%	R\$ 18,96	4%
			-15%	R\$ 21,04	-4%	R\$ 17,68	-3%
		SOC _{RE} _F	15%	R\$ 21,92	0%	R\$ 17,86	-2%
			-15%	R\$ 21,92	0%	R\$ 18,77	3%
	média	EF _{CH4}	15%	-R\$ 77,48	-12%	-R\$ 63,50	-9%
			-15%	-R\$ 62,92	9%	-R\$ 53,38	8%
		N _{ex}	15%	-R\$ 70,17	-1%	-R\$ 58,51	-1%
			-15%	-R\$ 68,73	1%	-R\$ 57,50	1%
		F _{SN}	15%	-R\$ 72,47	-4%	-R\$ 60,10	-4%
			-15%	-R\$ 66,65	4%	-R\$ 56,04	3%
		SOC _{RE} _F	15%	-R\$ 69,44	0%	-R\$ 56,60	2%
			-15%	-R\$ 69,44	0%	-R\$ 59,47	-3%
	larga	EF _{CH4}	15%	-R\$ 78,98	-12%	-R\$ 64,75	-9%
			-15%	-R\$ 64,15	9%	-R\$ 54,43	8%
		N _{ex}	15%	-R\$ 71,54	-1%	-R\$ 59,66	-1%
			-15%	-R\$ 70,07	1%	-R\$ 58,64	1%
		F _{SN}	15%	-R\$ 73,89	-4%	-R\$ 61,28	-4%
			-15%	-R\$ 67,96	4%	-R\$ 57,15	3%

		SOCR	15%	-R\$ 70,80	0%	-R\$ 57,72	2%
		EF	-15%	-R\$ 70,80	0%	-R\$ 60,64	-3%

Tabela 59: Variação do custo de abatimento da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Variação do custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS	Variação do custo de abatimento com COS
Confinamento	pequena	EF _{CH4}	15%	R\$ 47,76	9%	R\$ 41,62	8%
			-15%	R\$ 40,42	-8%	R\$ 35,93	-7%
		N _{ex}	15%	R\$ 44,11	1%	R\$ 38,82	1%
			-15%	R\$ 43,46	-1%	R\$ 38,31	-1%
		F _{SN}	15%	R\$ 45,10	3%	R\$ 39,59	3%
			-15%	R\$ 42,54	-3%	R\$ 37,60	-3%
		SOC _{RE} F	15%	R\$ 43,78	0%	R\$ 37,89	-2%
			-15%	R\$ 43,78	0%	R\$ 39,27	2%
	média	EF _{CH4}	15%	-R\$ 197,52	-9%	-R\$ 172,18	-8%
			-15%	-R\$ 167,23	8%	-R\$ 148,70	7%
		N _{ex}	15%	-R\$ 182,48	-1%	-R\$ 160,64	-1%
			-15%	-R\$ 179,77	1%	-R\$ 158,53	1%
		F _{SN}	15%	-R\$ 186,56	-3%	-R\$ 163,79	-3%
			-15%	-R\$ 175,98	3%	-R\$ 155,58	3%
		SOC _{RE} F	15%	-R\$ 181,12	0%	-R\$ 156,78	2%
			-15%	-R\$ 181,12	0%	-R\$ 162,47	-2%
	larga	EF _{CH4}	15%	-R\$ 192,51	-9%	-R\$ 167,80	-8%
			-15%	-R\$ 162,98	8%	-R\$ 144,92	7%
		N _{ex}	15%	-R\$ 177,85	-1%	-R\$ 156,56	-1%

			-15%	-R\$ 175,20	1%	-R\$ 154,50	1%
			15%	-R\$ 181,82	-3%	-R\$ 159,63	-3%
		F _{SN}	-15%	-R\$ 171,51	3%	-R\$ 151,62	3%
		SOC _{RE}	15%	-R\$ 176,52	0%	-R\$ 152,80	2%
		F	-15%	-R\$ 176,52	0%	-R\$ 158,35	-2%

Tabela 60: Variação do custo de abatimento da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros relacionados às emissões de GEE.

Estratégia	Escala	Parâmetro	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Variação do custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS	Variação do custo de abatimento com COS
ILP	pequena	EF _{CH4}	15%	-R\$ 375,38	-12%	-R\$ 320,68	-11%
			-15%	-R\$ 300,75	10%	-R\$ 264,59	9%
		N _{ex}	15%	-R\$ 337,62	-1%	-R\$ 292,71	-1%
			-15%	-R\$ 330,35	1%	-R\$ 287,23	1%
		F _{SN}	15%	-R\$ 341,03	-2%	-R\$ 295,27	-2%
			-15%	-R\$ 327,14	2%	-R\$ 284,81	2%
		SOC _{REF}	15%	-R\$ 333,94	0%	-R\$ 284,33	2%
	-15%		-R\$ 333,94	0%	-R\$ 295,79	-2%	
	F _I	15%	-R\$ 333,94	0%	-R\$ 259,76	10%	
		-15%	-R\$ 333,94	0%	-R\$ 328,07	-13%	
	média	EF _{CH4}	15%	-R\$ 497,63	-12%	-R\$ 425,15	-11%
			-15%	-R\$ 398,73	10%	-R\$ 350,81	9%
		N _{ex}	15%	-R\$ 447,60	-1%	-R\$ 388,09	-1%
			-15%	-R\$ 437,96	1%	-R\$ 380,82	1%
F _{SN}		15%	-R\$ 452,12	-2%	-R\$ 391,48	-2%	
-15%	-R\$ 433,72	2%	-R\$ 377,61	2%			

		SOC _{REF}	15%	-R\$ 442,73	0%	-R\$ 376,97	2%
			-15%	-R\$ 442,73	0%	-R\$ 392,17	-2%
		F _I	15%	-R\$ 442,73	0%	-R\$ 344,42	10%
			-15%	-R\$ 442,73	0%	-R\$ 434,94	-13%
	larga	EF _{CH4}	15%	-R\$ 505,20	-12%	-R\$ 431,63	-11%
			-15%	-R\$ 404,82	10%	-R\$ 356,17	9%
		N _{ex}	15%	-R\$ 454,41	-1%	-R\$ 394,01	-1%
			-15%	-R\$ 444,63	1%	-R\$ 386,64	1%
		F _{SN}	15%	-R\$ 459,00	-2%	-R\$ 397,46	-2%
			-15%	-R\$ 440,33	2%	-R\$ 383,37	2%
		SOC _{REF}	15%	-R\$ 449,47	0%	-R\$ 382,73	2%
			-15%	-R\$ 449,47	0%	-R\$ 398,15	-2%
		F _I	15%	-R\$ 449,47	0%	-R\$ 349,68	10%
			-15%	-R\$ 449,47	0%	-R\$ 441,56	-13%

Tabela 61: Variação dos indicadores financeiros da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Receita anualizada	%	Custo anualizado	%	Lucro anualizado	%	Margem líquida	%	Custo de formação	%	VPL	%	TIR	%
Semiconfinamento	Pequena	@ Boi gordo	15%	1.241.753	8%	-1.173.216	0%	68.537	-426%	5,52%	-401,77%	-1.258.961	0%	854.119	-426%	9,36%	162%
			-15%	1.058.852	-8%	-1.169.467	0%	-110.615	426%	-10,45%	471,17%	-1.258.961	0%	1.378.502	426%	-3,35%	-194%
	Fertilizantes	15%	1.150.303	0%	-1.252.996	7%	-102.693	388%	-8,93%	388,11%	-1.368.164	9%	1.279.787	388%	-2,53%	-171%	

			-15%	1.150.303	0%	-1.089.687	-7%	60.616	-388%	5,27%	-388,11%	-1.149.758	-9%	755.405	-388%	8,92%	149%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	1.203.770	5%	-1.308.464	12%	-104.694	398%	-8,70%	375,52%	-1.258.961	0%	-891.318	240%	3,58%	0%
			taxa de 15%	1.257.039	9%	-1.457.422	24%	-200.383	852%	-15,94%	771,57%	-1.258.961	0%	1.254.266	378%	3,58%	0%
	Média	@ Boi gordo	15%	6.826.212	8%	-5.595.954	0%	1.230.258	67%	18,02%	54,46%	-6.117.534	0%	15.331.735	67%	21,07%	43%
			-15%	5.820.763	-8%	-5.575.342	0%	245.421	-67%	4,22%	-63,87%	-6.117.534	0%	3.058.488	-67%	8,37%	-43%
		Fertilizantes e corretivos	15%	6.323.488	0%	-6.034.522	8%	288.965	-61%	4,57%	-60,84%	-6.717.849	10%	3.601.145	-61%	8,89%	-40%
			-15%	6.323.488	0%	-5.136.774	-8%	1.186.714	61%	18,77%	60,84%	-5.517.219	-10%	14.789.078	61%	20,72%	40%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	6.617.412	5%	-6.230.807	12%	386.605	-48%	5,84%	-49,93%	-6.117.534	0%	3.291.385	-64%	14,75%	0%
			taxa de 15%	6.910.241	9%	-6.931.608	24%	-21.367	-103%	-0,31%	-102,65%	-6.117.534	0%	-133.746	-101%	14,75%	0%
	Larga	@ Boi gordo	15%	12.457.818	8%	-9.907.062	0%	2.550.756	54%	20,48%	0,427556378	-10.975.419	0%	31.788.063	54%	24,83%	39%
			-15%	10.630.327	-8%	-9.869.598	0%	760.728	-54%	7,16%	0,501058887	-10.975.419	0%	9.480.357	-54%	11,07%	-38%
		Fertilizantes e corretivos	15%	11.544.072	0%	-2.989.905	-70%	839.874	-49%	7,28%	0,492750897	-12.066.546	10%	10.466.684	-49%	11,58%	-35%
			-15%	11.544.072	0%	-2.694.169	-73%	2.471.611	49%	21,41%	0,492750897	-9.884.293	-10%	30.801.735	49%	24,50%	37%

		Taxa de desconto	taxa de 10%	12.078.972	5%	-20.917.953	112%	1.083.317	-35%	8,97%	-	0,374695336	-10.975.419	0%	9.222.885	-55%	17,88%	0%
		Taxa de desconto	taxa de 15%	12.611.617	9%	-28.451.333	188%	415.785	-75%	3,30%	-	0,770139251	-10.975.419	0%	2.602.539	-87%	17,88%	0%

Tabela 62: Variação dos indicadores financeiros da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Receita anualizada	%	Custo anualizado	%	Lucro anualizado	%	Margem líquida	%	Custo de formação	%	VPL	%	TIR	%
Confinamento	Pequena	@ Boi gordo	15%	1.543.440	7%	-1.488.723	0%	54.716	-211%	3,55%	-203%	-1.226.665	0%	681.883	-211%	7,07%	132%
			-15%	1.331.069	-7%	-1.484.370	0%	-153.301	211%	-11,52%	236%	-1.226.665	0%	1.910.471	211%	1,55%	-151%
		Fertilizantes e corretivos	15%	1.437.254	0%	-1.570.626	6%	-133.372	171%	-9,28%	171%	-1.328.640	8%	1.662.108	171%	0,55%	-118%
			-15%	1.437.254	0%	-1.402.467	-6%	34.787	-171%	2,42%	-171%	-1.124.690	-8%	433.519	-171%	6,34%	108%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	1.500.668	4%	-1.694.273	14%	-193.605	293%	-12,90%	276%	-1.226.665	0%	1.648.267	168%	3,04%	0%
			taxa de 15%	1.563.317	9%	-1.922.746	29%	-359.429	629%	-22,99%	570%	-1.226.665	0%	2.249.786	266%	3,04%	0%
	Média	@ Boi gordo	15%	8.481.568	7%	-6.408.498	0%	2.073.069	38%	24,44%	28,57%	-5.805.768	0%	25.835.025	38%	25,96%	28,93%
			-15%	7.314.540	-7%	-6.384.574	0%	929.965	-38%	12,71%	33,12%	-5.805.768	0%	11.589.423	-38%	14,49%	-28,03%

		Fertilizantes e corretivos	15%	7.898.054	0%	-6.858.572	7%	1.039.482	-31%	13,16%	30,77%	-6.366.145	10%	12.954.240	-31%	15,45%	-23,24%	
			-15%	7.898.054	0%	-5.934.501	-7%	1.963.553	31%	24,86%	30,77%	-5.245.391	-10%	24.470.208	31%	25,04%	24,39%	
		Taxa de desconto	taxa de 10%	8.246.529	4%	-7.174.066	12%	1.072.463	-29%	13,01%	-	31,59%	-5.805.768	0%	9.130.483	-51%	20,13%	0,00%
			taxa de 15%	8.590.798	9%	-8.021.675	25%	569.123	-62%	6,62%	-	65,15%	-5.805.768	0%	3.562.330	-81%	20,13%	0,00%
	Larga	@ Boi gordo	15%	15.423.371	7%	-11.407.672	0%	4.015.699	35%	26,04%	25,64%	-10.413.737	0%	50.044.483	35%	28,88%	28,20%	
			-15%	13.301.180	-7%	-11.364.167	0%	1.937.013	-35%	14,56%	-	29,73%	-10.413.737	0%	24.139.460	-35%	16,47%	-26,89%
		Fertilizantes e corretivos	15%	14.362.275	0%	-12.226.111	7%	2.136.164	-28%	14,87%	-	28,23%	-11.432.759	10%	26.621.322	-28%	17,47%	-22,43%
			-15%	14.362.275	0%	-10.545.727	-7%	3.816.548	28%	26,57%	-	28,23%	-9.394.715	-10%	47.562.621	28%	27,91%	23,90%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	14.995.963	4%	-12.735.358	12%	2.260.605	-24%	15,07%	-	27,26%	-10.413.737	0%	19.245.801	-48%	22,52%	0,00%
			taxa de 15%	15.622.002	9%	-14.203.944	25%	1.418.058	-52%	9,08%	-	56,20%	-10.413.737	0%	8.876.094	-76%	22,52%	0,00%

Tabela 63: Variação dos indicadores financeiros da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Receita anualizada	%	Custo anualizado	%	Lucro anualizado	%	Margem líquida	%	Custo de formação	%	VPL	%	TIR	%
------------	--------	------------	---------------	--------------------	---	------------------	---	------------------	---	----------------	---	-------------------	---	-----	---	-----	---

ILP	Pequena	@ Boi gordo	15%	1.981.710	3%	-1.583.976	0%	397.735	18%	20,07%	15%	-581.867	0%	-	-	4.956.651	18%
			-15%	1.855.451	-3%	-1.581.387	0%	274.063	-18%	14,77%	-16%	-581.867	0%	-	-	3.415.434	-18%
		Fertilizantes e corretivos	15%	1.918.580	0%	-1.683.494	6%	235.086	-30%	12,25%	-30%	-620.690	7%	-	-	2.929.692	-30%
			-15%	1.918.580	0%	-1.481.869	-6%	436.712	30%	22,76%	30%	-543.044	-7%	-	-	5.442.392	30%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	1.970.316	3%	-1.710.455	8%	259.861	-23%	13,19%	-25%	-581.867	0%	-	-	2.212.340	-47%
			taxa de 15%	2.016.017	5%	-1.845.772	17%	170.245	-49%	8,44%	-52%	-581.867	0%	-	-	1.065.620	-75%
	Média	@ Boi gordo	15%	10.899.407	3%	-7.774.692	0%	3.124.714	12%	28,67%	9%	-2.488.629	0%	-	-	38.940.845	12%
			-15%	10.204.979	-3%	-7.760.457	0%	2.444.522	-12%	23,95%	-9%	-2.488.629	0%	-	-	30.464.148	-12%
		Fertilizantes e corretivos	15%	10.552.193	0%	-8.322.045	7%	2.230.148	-20%	21,13%	-20%	-2.702.153	9%	-	-	27.792.572	-20%
			-15%	10.552.193	0%	-7.213.104	-7%	3.339.088	20%	31,64%	20%	-2.275.105	-9%	-	-	41.612.421	20%
		Taxa de desconto	taxa de 10%	10.836.735	3%	-8.354.964	8%	2.481.771	-11%	22,90%	-13%	-2.488.629	0%	-	-	21.128.717	-39%
			taxa de 15%	11.088.094	5%	-8.976.309	16%	2.111.786	-24%	19,05%	-28%	-2.488.629	0%	-	-	13.218.366	-62%

Larga	@ Boi gordo	15%	19.817.103	3%	-13.767.569	0%	6.049.534	11%	30,53%	8%	-4.383.156	0%	-3.263.109	0%	75.390.564	11%
		-15%	18.554.507	-3%	-13.741.686	0%	4.812.821	-11%	25,94%	-8%	-4.383.156	0%	-3.263.109	0%	59.978.388	-11%
	Fertilizantes e corretivos	15%	19.185.805	0%	-14.762.755	7%	4.423.050	-19%	23,05%	-19%	-4.771.382	9%	-3.483.327	7%	55.120.976	-19%
		-15%	19.185.805	0%	-12.746.500	-7%	6.439.305	19%	33,56%	19%	-3.994.931	-9%	-3.042.891	-7%	80.247.976	19%
	Taxa de desconto	taxa de 10%	19.703.155	3%	-14.755.982	7%	4.947.174	-9%	25,11%	-11%	-4.383.156	0%	-3.263.109	0%	42.118.078	-38%
		taxa de 15%	20.160.172	5%	-15.810.085	15%	4.350.087	-20%	21,58%	-24%	-4.383.156	0%	-3.263.109	0%	27.228.636	-60%

Tabela 64: Variação dos custos de abatimento da estratégia Semiconfinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS
Semiconfinamento	Pequena	@ Boi gordo	15%	-R\$ 65,27	-R\$ 54,50
			-15%	R\$ 109,11	R\$ 91,11
		Fertilizantes e corretivos	15%	R\$ 101,40	R\$ 84,67
			-15%	-R\$ 57,56	-R\$ 48,06
		Taxa de desconto	taxa de 10%	R\$ 71,06	R\$ 59,33
			taxa de 15%	R\$ 99,40	R\$ 83,00
	Média	@ Boi gordo	15%	-R\$ 156,50	-R\$ 130,71
			-15%	R\$ 17,62	R\$ 14,71
		Fertilizantes e corretivos	15%	R\$ 9,92	R\$ 8,28

		Taxa de desconto	-15%	-R\$ 148,80	-R\$ 124,28
			taxa de 10%	R\$ 14,31	R\$ 11,96
			taxa de 15%	R\$ 62,91	R\$ 52,54
	Larga	@ Boidgado	15%	-R\$ 157,75	-R\$ 131,78
			-15%	R\$ 16,15	R\$ 13,49
		Fertilizantes e corretivos	15%	R\$ 8,46	R\$ 7,07
			-15%	-R\$ 150,06	-R\$ 125,36
		Taxa de desconto	taxa de 10%	R\$ 18,16	R\$ 15,17
			taxa de 15%	R\$ 69,76	R\$ 58,28

Tabela 65: Variação dos custos de abatimento da estratégia Confinamento conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS
Confinamento	Pequena	@ Boidgado	15%	-R\$ 45,91	-R\$ 40,44
			-15%	R\$ 133,48	R\$ 117,57
		Fertilizantes e corretivos	15%	R\$ 116,29	R\$ 102,43
			-15%	-R\$ 28,72	-R\$ 25,30
		Taxa de desconto	taxa de 10%	R\$ 115,33	R\$ 101,59
			taxa de 15%	R\$ 156,95	R\$ 138,26
	Média	@ Boidgado	15%	-R\$ 270,63	-R\$ 238,44
			-15%	-R\$ 91,60	-R\$ 80,71
		Fertilizantes e corretivos	15%	-R\$ 108,75	-R\$ 95,82
			-15%	-R\$ 253,48	-R\$ 223,33
		Taxa de desconto	taxa de 10%	-R\$ 60,70	-R\$ 53,48
			taxa de 15%	R\$ 9,27	R\$ 8,17

	Larga	@ Boi gord o	15%	-R\$ 266,04	-R\$ 234,40
			-15%	-R\$ 87,00	-R\$ 76,65
		Fertilizantes e corretivos	15%	-R\$ 104,15	-R\$ 91,76
			-15%	-R\$ 248,88	-R\$ 219,28
		Taxa de desconto	taxa de 10%	-R\$ 53,17	-R\$ 46,85
			taxa de 15%	R\$ 18,49	R\$ 16,29

Tabela 66: Variação dos custos de abatimento da estratégia ILP conforme a análise de sensibilidade dos parâmetros financeiros.

Estratégia	Escala	Parâmetros	Sensibilidade	Custo de abatimento sem COS	Custo de abatimento com COS
ILP	Pequena	@ Boi gord o	15%	-R\$ 395,69	-R\$ 343,56
			-15%	-R\$ 272,20	-R\$ 236,33
		Fertilizantes e corretivos	15%	-R\$ 233,27	-R\$ 202,54
			-15%	-R\$ 434,61	-R\$ 377,35
		Taxa de desconto	taxa de 10%	-R\$ 175,79	-R\$ 152,63
			taxa de 15%	-R\$ 83,91	-R\$ 72,85
	Média	@ Boi gord o	15%	-R\$ 504,45	-R\$ 438,01
			-15%	-R\$ 381,01	-R\$ 330,83
		Fertilizantes e corretivos	15%	-R\$ 342,10	-R\$ 297,05
			-15%	-R\$ 543,35	-R\$ 471,79
		Taxa de desconto	taxa de 10%	-R\$ 245,06	-R\$ 212,79
			taxa de 15%	-R\$ 129,87	-R\$ 112,76
	Larga	@ Boi gord o	15%	-R\$ 511,18	-R\$ 443,87
			-15%	-R\$ 387,77	-R\$ 336,71
Fertilizantes e corretivos		15%	-R\$ 348,87	-R\$ 302,93	

			-15%	-R\$ 550,07	-R\$ 477,64
		Taxa de descont o	taxa de 10%	-R\$ 244,75	-R\$ 212,53
			taxa de 15%	-R\$ 125,53	-R\$ 109,00