

PEGADA DE CARBONO DA CARNE BOVINA BRASILEIRA EXPORTADA PARA A UNIÃO EUROPEIA

Resultados e premissas para o cálculo das emissões do
ciclo de vida do produto





PEGADA DE CARBONO DA CARNE BOVINA BRASILEIRA EXPORTADA PARA A UNIÃO EUROPEIA

Resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida
do produto

Projeto Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira

Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getulio Vargas – FGVces

Outubro de 2019



Projeto Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira

REALIZAÇÃO

Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) da Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP)

COORDENAÇÃO FGVCES

Mario Monzoni – Coordenador Geral

Paulo Durval Branco – Vice-Coordenador

Annelise Vendramini Felsberg – Coordenadora Produção e Consumo Sustentáveis

ESTUDO

Pegada de carbono da carne bovina brasileira: Resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida do produto

COORDENAÇÃO GERAL

Beatriz Kiss

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Ricardo Dinato

EQUIPE

Ricardo Dinato

Juliana Ferreira Picoli

Matheus Fernandes

Beatriz Kiss

Jessica Chrysafidis

AGRADECIMENTOS

Parceiros técnicos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), JBS SA, Marfrig Global Foods e Minerva Foods

Parceiros institucionais: Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil), Centro de Estudos do Agronegócio da Escola de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGVagro), Grupo de Trabalho da Pecuária Sustentável (GTPS) e Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV).

Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia [recurso eletrônico] : resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida do produto / Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas. – São Paulo : FGVces/EAESP-FGV, 2019.
151 p.

1. Agropecuária – Brasil. 2. Carne bovina – Exportação. 3. Brasil – Comércio – União Europeia. 4. Concorrência. 5. Redução de gases do efeito estufa. 6. Efeito estufa (atmosfera) – Aspectos econômicos. 7. Desenvolvimento sustentável – Aspectos ambientais. I. Fundação Getúlio Vargas

CDU 636



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Projeto pegada de carbono da carne bovina brasileira	12
1.2. Estudo da pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia	13
1.2.1. Avaliação do Ciclo de Vida	14
1.2.2. Estrutura deste documento	15
1.2.3. Público-alvo	15
2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO	16
2.1. Premissas e limitações do estudo	17
2.2. Sistema de produto	19
2.2.1. Sistema de produto A	22
2.2.2. Sistema de produto B	23
2.2.3. Sistema de produto C	24
2.2.4. Sistema de produto D	25
2.3. Unidade declarada	26
2.4. Fronteiras do sistema	27
2.5. Procedimentos de alocação	28
2.6. Métodos de avaliação de impacto ambiental	29
3. COLETA DE DADOS	31
3.1. Fazenda	32
3.1.1. Cobertura geográfica	33
3.1.2. Composição do rebanho no início do ano	35
3.1.3. Compra de animais ao longo do ano	37
3.1.4. Vendas para o abate	39
3.1.5. Consumo de fertilizantes minerais e corretivos agrícolas	40
3.1.6. Consumo de ração animal	41
3.2. Frigorífico	43
3.2.1. Cobertura geográfica	43
3.2.2. Rendimentos de processos	44
3.2.3. Valor econômico	44
3.2.4. Energia elétrica e combustíveis	45
3.2.5. Emissões de GEE da ETE	46
3.3. Transporte e exportação	47
3.3.1. Transporte de fertilizantes, corretivos agrícolas e ração animal para a fazenda (T1 e T2)	48
3.3.2. Transporte dos animais comprados (T3)	48
3.3.3. Transporte do animal vivo para o frigorífico (T4)	48
3.3.4. Transporte de combustíveis para o frigorífico (T5)	49
3.3.5. Exportação da carne desossada para a Europa (T6 e T7)	49
4. METODOLOGIA DE CÁLCULO	50
4.1. Abordagens para a contabilização das emissões de GEE da fazenda	50
4.1.1. Abordagem top-down	51



4.1.2.	Abordagem bottom-up / híbrida	60
4.2.	Fazenda	62
4.2.1.	Emissões derivadas da fermentação entérica	63
4.2.2.	Emissões derivadas do manejo de dejetos (metano).....	65
4.2.3.	Emissões derivadas do manejo de dejetos (óxido nitroso)	67
4.2.4.	Emissões derivadas da mudança de uso da terra	70
4.2.5.	Emissões derivadas da aplicação de fertilizantes e corretivos agrícolas	73
4.2.6.	Emissões derivadas dos processos de background	75
4.3.	Frigorífico	80
4.4.	Transporte e exportação	81
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.1.	Fazenda	85
5.2.	Frigorífico	93
5.3.	Transporte e exportação	95
5.4.	Pegada de carbono da carne bovina	97
5.5.	Findings.....	105
5.5.1.	Emissões da progenitora.....	105
5.5.2.	Idade de abate versus peso de abate.....	107
5.5.3.	Taxa de ocupação.....	109
6.	AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	112
6.1.	Avaliação de cenários	112
6.1.1.	Mudança de uso da terra.....	112
6.1.2.	Intervalo entre partos.....	116
6.2.	Análise de sensibilidade	118
6.2.1.	Método de AICV.....	118
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	122
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
9.	ANEXOS	129



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais produtos resultantes do Projeto PCCBB	12
Figura 2: Fases de um estudo de avaliação do ciclo de vida.....	14
Figura 3: Diagrama da produção de carne bovina desossada.....	19
Figura 4: Relação entre os produtos analisados no estudo.....	21
Figura 5: Mapa de Iniciativas da Pecuária Sustentável	25
Figura 6: Fronteiras do sistema de produção de carne bovina no Brasil	28
Figura 7: Dados coletados nas fazendas	33
Figura 8: Cobertura geográfica das fazendas (coleta de dados primários).....	35
Figura 9: Dados coletados nas unidades frigoríficas	43
Figura 10: Tipos de transporte considerados	47
Figura 11: Árvore de decisão para forçar a estabilização do rebanho	56
Figura 12: Ciclo de vida da fêmea reprodutora	61
Figura 13: PC da carne bovina do berço ao portão da fazenda: comparação entre abordagens híbrida e <i>top-down</i> , (a) antes e (b) após os ajustes	86
Figura 14: Principais fontes de emissão de GEE pelas abordagens (a) híbrida e (b) <i>top- down</i> após ajustes, do berço ao portão da fazenda	89
Figura 15: Principais fontes de emissão de GEE dos frigoríficos, em kg CO ₂ e por animal ..	94
Figura 16: Emissão de GEE dos frigoríficos, em kg CO ₂ e por kg de carne desossada	94
Figura 17: Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia	98
Figura 18: Principais etapas e fontes de emissão da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, em kg CO ₂ e / kg carne desossada	100
Figura 19: Principais gases e fontes de emissão da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, em kg CO ₂ e / kg carne desossada	101
Figura 20: PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, por sistema de produto...	104
Figura 21: Contribuição do animal e de sua progenitora pela abordagem <i>bottom-up</i> *.....	106
Figura 22: Relação da PC com a idade e o peso de abate;	108
Figura 23: Relação da PC com a taxa de ocupação das pastagens.....	110
Figura 24: Relação das emissões de dMUT com a taxa de ocupação das pastagens.	110
Figura 25: Cenários de dMUT na PC da carne bovina brasileira (kg CO ₂ e / kg carne desossada)	115
Figura 26: Cenários de eficiência reprodutiva na PC da carne bovina brasileira (kg CO ₂ e / kg carne desossada)	117
Figura 27: Influência dos FC na PC da carne bovina	119
Figura 28: Influência da métrica de contabilização de GEE nas diferentes fontes de emissão	121



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Etapas e processos considerados no ciclo de vida da carne bovina.....	20
Tabela 2: Peso total das carcaças dos bovinos abatidos em 2018 no Brasil.....	22
Tabela 3: Principais destinos da carne bovina brasileira exportada em 2018.....	23
Tabela 4: Estados onde se localizam as propriedades rurais aptas a vender animais que serão utilizados para produção de carne para exportação à UE	24
Tabela 5: Empresas responsáveis pelos frigoríficos aptos a exportar carne bovina para a UE	24
Tabela 6: Exportação de carne bovina do Brasil para a UE via cota Hilton (toneladas).....	25
Tabela 7: Principais frigoríficos aptos a exportar à UE via Cota Hilton	25
Tabela 8: GWP e GTP dos GEE avaliados neste estudo, de acordo com o	30
Tabela 9: Cobertura geográfica das fazendas (coleta de dados primários)	34
Tabela 10: Composição do rebanho no primeiro dia do ano de 2018.....	36
Tabela 11: Animais comprados pelas fazendas em 2018	38
Tabela 12: Animais vendidos para o abate em 2018.....	39
Tabela 13: Utilização de fertilizantes e corretivos (em toneladas) – consumo total em 2018	40
Tabela 14: Dados relacionados à alimentação dos animais (em toneladas) – consumo total por fazenda em 2018	42
Tabela 15: Fatores de alocação mássico e econômico	45
Tabela 16: Energia elétrica e combustíveis consumidos pelos frigoríficos (por animal abatido).....	45
Tabela 17: GEE emitidos na ETE dos frigoríficos (por animal abatido)	46
Tabela 18: Distâncias consideradas nos diferentes modais de transporte	48
Tabela 19: Variação do tamanho do rebanho entre 01/01/2018 e 01/01/2019 em cada fazenda.....	52
Tabela 20: Variação do tamanho do rebanho entre 01/01/2018 e 01/01/2019 em fazendas de ciclo completo, considerando os nascimentos.....	54
Tabela 21: Comportamento do rebanho de cada fazenda e respectivos ajustes para estabilização	57
Tabela 22: Dados sobre animais comprados pelas fazendas, após ajustes para estabilização do rebanho	58
Tabela 23: Composição média do rebanho estabilizado (após ajustes), em número de animais	59
Tabela 24: Abordagem metodológica para contabilização das fontes de emissão de GEE. 62	
Tabela 25: Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte....	63
Tabela 26: Fatores de emissão de metano para manejo de dejetos de bovinos de corte....	65
Tabela 27: Quantidade anual de nitrogênio excretada diretamente na pastagem (Nex).....	68
Tabela 28: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra para pastagens .	71
Tabela 29: Concentração de nutrientes nos fertilizantes minerais.....	73
Tabela 30: Insumos utilizados nas fazendas e respectivos <i>datasets</i>	76
Tabela 31: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra (dMUT) para componentes da ração animal	78
Tabela 32: Produtividade média dos insumos agrícolas, em 2015.....	79
Tabela 33: Insumos utilizados nas unidades frigoríficas e respectivos <i>datasets</i> *	81



Tabela 34: <i>Datasets</i> relacionados ao transporte de insumos	82
Tabela 35: Inventário do ciclo de vida da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia, em kg GEE / kg carne desossada.....	84
Tabela 36: Emissões de GEE, em kg CO ₂ e / kg carne desossada do berço ao portão da fazenda, pelas abordagens híbrida e <i>top-down</i> , antes e após os ajustes.....	87
Tabela 37: Emissões de GEE, em kg CO ₂ e / kg carne desossada, do berço ao portão da fazenda, por fonte de emissão: abordagem híbrida	91
Tabela 38: Emissões de GEE, em kg CO ₂ e / kg carne desossada, do berço ao portão da fazenda, por fonte de emissão: abordagem <i>top-down</i> após ajustes	92
Tabela 39: Emissões de GEE dos frigoríficos, em kg CO ₂ e / animal	93
Tabela 40: Emissões de GEE das atividades de transporte de insumos,	96
Tabela 41: Emissões de GEE das atividades de transporte e exportação da carne bovina brasileira, em kg CO ₂ e / kg carne desossada.....	96
Tabela 42: PC da carne bovina, em kg CO ₂ e / kg carne desossada, do berço ao porto europeu, por fonte de emissão.....	103
Tabela 43: Descrição dos cenários de dMUT.....	112
Tabela 44: Estoque de carbono no solo, em t C/ha.....	113
Tabela 45: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra para pastagens	113
Tabela 46: Porcentagem de expansão de área de pastagem entre 1996 e 2015.....	114
Tabela 47: Resultados do cenário de mudança de uso da terra na PC (kg CO ₂ e / kg carne desossada)	114
Tabela 48: Descrição dos cenários de eficiência reprodutiva	116
Tabela 49: Resultados dos cenários de eficiência reprodutiva (kg CO ₂ e / kg carne desossada)	117



LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
AR	Argentina
BR	Brasil
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CS	Carbono no solo
DDG	Grão seco de destilaria
dMUT	Mudança direta de Uso da Terra
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de caracterização
FG	Frigorífico
FZ	Fazenda
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GTP	<i>Global Temperature change Potential</i>
GTPS	Grupo de Trabalho da Pecuária Sustentável
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
ICV	Inventário do ciclo de vida
iLUC	Mudança indireta de Uso da Terra
IP	Intervalo entre partos
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	International Organization for Standardization
KCI	Cloreto de potássio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MG	Minas Gerais
MT	Mato Grosso
N ₂ O	Óxido nitroso
NBR	Norma Brasileira
NPK	Nitrogênio-fósforo-potássio
PC	Pegada de Carbono
PCCBB	Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira
PCP	Polpa cítrica peletizada
PGP	Gordura protegida de palma
RCP	Regra de Categoria de Produto



RoW	Resto do mundo (<i>Rest of World</i>)
SSP	Superfosfato simples
TSP	Superfosfato triplo
UD	Unidade declarada
UE	União Europeia



1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como um dos maiores produtores, exportadores e consumidores de carne bovina. Com um rebanho de aproximadamente 214,7 milhões de cabeças, o setor pecuário produziu, em 2018, 10.959 milhões de toneladas de equivalentes de carcaça, dos quais 20% foram exportados (ABIEC, 2019a). Esses números fazem do Brasil o maior exportador e o segundo maior consumidor de carne bovina do mundo (ABIEC, 2019a).

A pecuária de corte é também uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil. Em 2015, o setor agropecuário contribuiu com cerca de 25,6% das emissões brutas de GEE no Brasil, sendo que as emissões da fermentação entérica e do manejo de dejetos de gados de corte representaram 49,4% desse montante (MCTI, 2016a).

No entanto, o crescente reconhecimento de que os hábitos e escolhas alimentares impactam nas mudanças climáticas, na biodiversidade e no uso de recursos naturais, vem pressionando os diversos atores desse setor a favor de mudanças rumo a sistemas de produção menos impactantes (DAGEVOS; VOORDOUW, 2013). Soma-se a isso a expansão dos diversos tipos de rotulagem de produtos (os ditos produtos “verdes” ou “sustentáveis”) e a crescente demanda de consumidores individuais e institucionais por informações ambientais sobre os produtos adquiridos. Iniciativas como o *The Single Market for Green Products Initiative*¹, que passará a demandar informações sobre os aspectos e impactos ambientais dos produtos comercializados na União Europeia (UE), são fortes indicadores de que o setor da pecuária – assim como outros – deverão se adequar para permanecerem em seus mercados de atuação.

Metodologias capazes de levar em conta toda a cadeia produtiva de um produto (bem ou serviço), como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), permitem quantificar com eficiência os impactos ambientais associados aos processos e atividades em toda a cadeia. Desta forma, servem como ferramenta para justificar potenciais benefícios de produtos considerados mais sustentáveis, bem como oferecer insumos para uma gestão mais eficiente dos processos e impactos negativos. A ACV pode contribuir, portanto, para a promoção de produtos a partir de seus atributos ambientais. É nesse contexto que surge o Projeto “Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento para análise da competitividade internacional de produtos brasileiros: estudo de caso da carne bovina”, também denominado Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira (PCCBB) daqui em diante.

¹ Para saber mais, acesse: <http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/index.htm>.

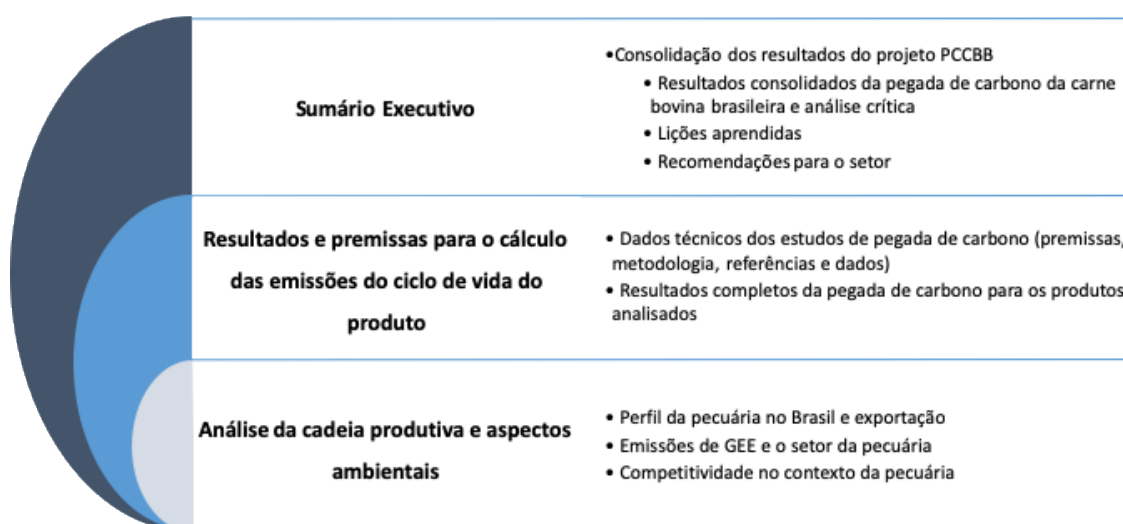


1.1. Projeto pegada de carbono da carne bovina brasileira

O Projeto PCCBB tem como principal objetivo analisar o potencial da carne bovina brasileira exportada para o mercado europeu a partir de seus atributos ambientais, levando em consideração as tendências de rotulagem ambiental e diferenciação de produtos em mercados mais exigentes, como o Europeu. Assim, o projeto está suportado em três grandes pilares: cadeia da pecuária brasileira, emissões de gases de efeito estufa (pegada de carbono) e o mercado da carne bovina na União Europeia. Os produtos derivados desse projeto estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1: Principais produtos resultantes do Projeto PCCBB

Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia:



Fonte: elaboração própria

O PCCBB é conduzido pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces), tem apoio da Rede de Pesquisa Aplicada da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e é financiado pelo respectivo Fundo de Pesquisa Aplicada da FGV.

O projeto contou com parceiros técnicos e institucionais de grande relevância, que colaboraram em diversas etapas e foram essenciais para o atingimento dos objetivos da pesquisa. São eles (apresentados em ordem alfabética, por categoria):

- Parceiros técnicos: Embrapa, JBS SA, Marfrig Global Foods e Minerva Foods
- Parceiros institucionais: Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil), Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas



(FGV Agro), Grupo de Trabalho da Pecuária Sustentável (GTPS) e Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV).

1.2. Estudo da pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia

O presente relatório, denominado “Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia: resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida do produto”, é parte integrante do Projeto PCCBB. Seu principal objetivo é fornecer subsídio técnico para embasar as discussões e análises do Projeto PCCBB, apresentadas em seu relatório final intitulado “Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia: sumário executivo”.

Essa etapa do projeto de pesquisa é a responsável pela execução da ACV da carne bovina produzida no Brasil com a finalidade de exportação para a UE. Como apenas uma categoria de impacto ambiental é analisada – Mudanças Climáticas – a denominação correta para tal avaliação é Pegada de Carbono (PC).

A partir da quantificação das emissões de GEE da cadeia de valor da pecuária de corte (desde a produção de insumos até a chegada aos portos da Europa), espera-se que o presente estudo contribua para uma melhor compreensão do perfil de emissões da carne bovina nacional exportada, além de incentivar o desenvolvimento de metodologias sólidas, transparentes e replicáveis para o setor. O estudo visa, também, auxiliar na identificação dos pontos críticos e das principais oportunidades para a redução de emissões de GEE nessa cadeia, fomentando melhores práticas e ações conjuntas entre os diversos atores do setor. Essas são, portanto, as razões e aplicações do estudo.

A PC da carne bovina brasileira foi elaborada com a técnica da ACV, seguindo os requisitos técnicos das normas ABNT NBR ISO 14040:2014 e ABNT NBR ISO 14044:2014 (ABNT, 2014a, 2014b). A norma ISO 14067:2013 (ISO, 2013), específica de PC, serviu apenas como material de consulta, pois possui um foco muito grande em rotulagem ambiental de produtos. Além disso, foi utilizada a Regra de Categoria de Produto (RCP) intitulada “*Product Category Rules: meat of mammals*” (EPD INTERNATIONAL, 2012) para definir premissas específicas do produto em análise.

As RCP são um conjunto de regras específicas, requisitos e diretrizes para o desenvolvimento de declarações ambientais do tipo III para uma ou mais categorias de produto (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019). É importante ressaltar que a RCP determina a avaliação de diversas categorias de impacto ambiental; no entanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar



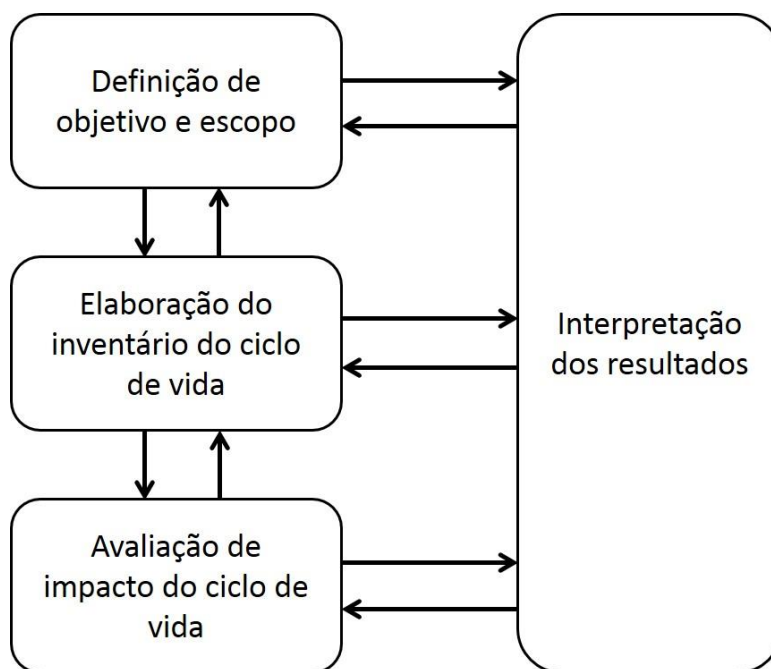
apenas uma categoria, o que não impede o aproveitamento das demais determinações da RCP. Além disso, a RCP constitui um documento específico atrelado a um programa voluntário de rotulagem ambiental. Como o presente estudo não foi desenvolvido para fins de rotulagens, os autores acreditam que a RCP da carne de mamíferos pode contribuir para a padronização e transparência do estudo, servindo apenas como referência em certas decisões metodológicas.

1.2.1. Avaliação do Ciclo de Vida

A ACV é uma técnica reconhecida internacionalmente, aplicada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração dos recursos naturais até sua disposição junto ao ambiente, passando pelas etapas de obtenção da matéria-prima, pré-processamento, produção, distribuição, uso e fim de vida.

Conforme pode ser observado na Figura 2, um estudo de ACV é realizado em quatro fases principais: (a) definição de objetivo e escopo; (b) elaboração do inventário do ciclo de vida (ICV); (c) avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) e (d) interpretação dos resultados (ABNT, 2014a, 2014b).

Figura 2: Fases de um estudo de avaliação do ciclo de vida



Fonte: ABNT (2014a)



1.2.2. Estrutura deste documento

Os capítulos a seguir apresentam a abordagem metodológica e os resultados do estudo da PC da carne bovina brasileira, conforme descrito a seguir:

O Capítulo 2 traz a definição do objetivo e escopo, incluindo as principais premissas e limitações para este estudo. Os Capítulos 3 e 4 apresentam os principais produtos, insumos e emissões de GEE utilizados para a elaboração dos ICV.

O Capítulo 5 é dedicado à AICV e à interpretação dos resultados, enquanto o capítulo 6 traz uma avaliação das diferentes simulações de cenários que podem interferir nos resultados obtidos.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta as principais recomendações e considerações finais deste estudo.

1.2.3. Público-alvo

O público-alvo do presente relatório é o profissional que já possui conhecimento em ACV e em PC e deseja conhecer os pormenores do estudo; dessa forma, o documento não apresenta as definições básicas sobre o tema. Àqueles que não possuem conhecimento prévio sobre o assunto, recomendamos a seguinte literatura básica:

- ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura;
- ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações;
- ABNT ISO/TS 14067: Gases de efeito estufa – Pegada de carbono de produtos – Requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação;
- PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services;
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.



2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

O objetivo principal deste estudo é quantificar e avaliar a PC da carne bovina produzida no Brasil para fornecer subsídios à discussão sobre a gestão das emissões de GEE deste produto e seu posicionamento em mercados internacionais, com foco principal nas exportações para a UE.

A abordagem utilizada neste estudo é do tipo “berço ao porto”, ou seja, não contempla as etapas de uso e de fim de vida do produto. São consideradas as emissões de GEE da carne bovina produzida no Brasil desde a produção dos insumos utilizados na fazenda até a exportação do produto, chegando ao porto de destino na Europa. É importante ressaltar que a Mudança direta de Uso da Terra (dMUT) também foi considerada no estudo.

Entende-se por dMUT, a mudança no estoque de carbono ocasionada pela mudança de uma categoria de uso da terra para outra (por exemplo, conversão de vegetação nativa para pastagem) ou pela mudança de manejo dentro de uma mesma categoria (por exemplo, conversão de pastagem degradada para pastagem recuperada). Neste estudo somente foi considerada a dMUT relacionada à mudança de categoria de uso da terra. Para analisar o impacto do manejo da pastagem, foi realizada uma avaliação de cenários, apresentada no Capítulo 6.

O escopo da pesquisa abrange 23 fazendas produtoras de bovinos de corte e 9 unidades frigoríficas das três maiores empresas do setor, localizados em diferentes regiões do território nacional. Em relação à cobertura temporal, os dados coletados referem-se ao ano de 2018.

É muito importante ressaltar que este não é um estudo comparativo e os resultados deste trabalho não devem ser utilizados para comparações entre os diferentes sistemas, pois a amostra utilizada no estudo não é suficiente para tal extrapolação. Além disso, os autores não recomendam a agregação dos resultados, para geração de índices médios de impacto ambiental, visto que tal número não representaria adequadamente a complexa e heterogênea produção de carne bovina do Brasil.

Os resultados do presente estudo somente poderão ser comparados com outros estudos de ACV ou de PC de carne bovina se as premissas utilizadas forem equivalentes. Nesse caso, recomenda-se que seja feita uma análise minuciosa das premissas e contexto antes de quaisquer análises comparativas.

Cabe informar, ainda, que este estudo foi submetido a um processo de análise crítica realizado por especialista externo. O parecer da análise pode ser consultado no Anexo 1.



2.1. Premissas e limitações do estudo

Ao longo da execução deste estudo, diversas premissas e escolhas metodológicas foram estabelecidas. Além disso, por se tratar de um setor extremamente complexo, limitações foram encontradas. As mais relevantes estão listadas abaixo:

1. Comparabilidade: os resultados da PC da carne bovina apresentados neste estudo não devem ser comparados com outros estudos uma vez que o conjunto de premissas adotadas são específicas deste projeto:
 - Para elaboração do ICV e apresentação dos resultados da PC da carne bovina foi adotada a UD: 1 kg de carne bovina desossada refrigerada;
 - A fronteira do estudo compreende as emissões de GEE do berço ao porto, ou seja, desde a produção de insumos para a atividade agropecuária até a chegada da carne bovina brasileira ao porto europeu (porto de Roterdã);
 - No caso da alocação entre os produtos e coprodutos do frigorífico, foi adotado o critério de alocação econômica;
 - O estudo utilizou como fator de caracterização a métrica GWP 100 anos do quinto relatório do IPCC (IPCC, 2013).
2. Representatividade e generalização: o escopo do projeto PCCBB é específico e contempla uma pequena parcela da produção de carne bovina do Brasil: apenas a carne bovina exportada para a União Europeia. Além disso, os dados utilizados foram coletados em uma amostra restrita de fazendas e de unidades frigoríficas, que não representam a produção nacional e nem mesmo a produção de carne para exportação. Assim:
 - Os resultados da PC apresentados neste estudo representam tão somente a amostra e o escopo analisado e não podem ser utilizados para generalizações de qualquer natureza. Os resultados não representam, portanto, médias nacionais;
 - Os resultados da PC são apresentados individualmente por fazenda e não de forma agregada (média das fazendas). Isto porque a amostra do estudo (23 fazendas) não é aleatória e, portanto, não é representativa do universo de fazendas que compõe cada sistema de produto.
3. Mudança direta de uso da terra:
 - Grande parte dos estudos de PC que incluem emissões derivadas da dMUT utilizam, como horizonte temporal de análise e período de amortização das emissões, o período de 20 anos (BSI, 2011; ISO, 2013; WRI, 2011). Em concordância, este estudo considera o mesmo período para a análise;
 - As emissões decorrentes da dMUT foram estimadas segundo o método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017), que considera a mudança de uso da terra desagregada em nível estadual, para o período de 20 anos (de 1996 a 2015). Foram atribuídas emissões apenas à expansão dos usos da terra durante este período, ou seja, para os estados onde houve retração de área de pastagem não foi atribuída emissão de dMUT;



- Em estudos de ACV, o cálculo das emissões provenientes da supressão de vegetação nativa não faz nenhuma diferenciação entre desmatamento legal e desmatamento ilegal, pois ambos envolvem a alteração no estoque de carbono do solo e resultam em emissões de GEE para a atmosfera.
 - Seguindo a recomendação dos principais métodos de cálculo da pegada de carbono BSI (2011), ISO (2013) e WRI (2011), não foram consideradas as emissões provenientes da mudança indireta de uso da terra (iLUC, do inglês, *indirect Land Use Change*) promovida pela atividade agropecuária;
 - As informações sobre “situação da área há 20 anos” e “situação atual da área de pastagem” levantadas nas propriedades durante a etapa de coleta de dados não foram utilizadas para o cálculo das emissões derivadas da dMUT. Esta decisão foi tomada a fim de minimizar as incertezas associadas a essa importante variável, dada a inconsistência (nem todos os informantes responderam a esse questionamento) e ao caráter auto declaratório dessas informações;
 - Uma simulação de cenários foi realizada para estimar os efeitos da dMUT no resultado do cálculo da PC (Capítulo 6). Para isso, foram considerados os seguintes cenários: (i) supressão de vegetação nativa (desmatamento), (ii) recuperação de pastagem e (iii) nenhuma alteração do uso da terra;
 - O cálculo da PC da carne bovina está sujeito a uma série de incertezas, principalmente nas estimativas das emissões derivadas da dMUT. Além das incertezas intrínsecas ao método utilizado (BRLUC v1.2), um grande ponto de incerteza do estudo está na adoção das informações em nível estadual e não em nível municipal.
4. Dados primários: foram coletados dados primários tanto das atividades frigoríficas quanto das atividades nas fazendas. Essas informações foram declaradas pelos responsáveis, não tendo sido realizada auditoria para verificar a veracidade das informações. Assim:
- Todos os dados primários dos frigoríficos utilizados nos cálculos da PC – dados de produção, rendimento de carcaça, utilização de insumos, transporte, entre outros – foram autodeclaradas pelos responsáveis das unidades frigoríficas;
 - Todos os dados primários das fazendas utilizadas nos cálculos da PC – aquisição de fertilizantes, aquisição de ração, aquisição de bezerros, número de animais, idade média de abate, peso dos animais, dentre outros – foram autodeclaradas pelos responsáveis das fazendas.
5. Dados secundários e simplificações: foram coletados dados secundários da literatura científica para processos de *background*. Sempre que possível, utilizou-se dados de trabalhos realizados no Brasil e, na ausência de dados nacionais, recorreu-se a trabalhos estrangeiros. Devido à ausência de algumas informações, diversas simplificações foram adotadas ao longo do estudo, principalmente nos componentes da ração animal, fonte de fertilizantes formulados, e distâncias e modais de transporte.



O presente estudo se propõe a analisar apenas os impactos ambientais associados às mudanças climáticas da carne bovina brasileira a partir da técnica da ACV. Como não são consideradas outras categorias de impacto ambiental, o estudo limita-se a uma categoria única e não possibilita a análise de possíveis *trade-offs* entre a PC e outras categorias relevantes de impacto ambiental.

Cabe ressaltar que todos os resultados apresentados levam em consideração as premissas supracitadas e outras explicitadas ao longo do relatório. Elas são fundamentais para a compreensão dos resultados e também do sumário executivo do projeto PCCBB e embasam as análises construídas. Assim, os resultados não devem ser dissociados das premissas.

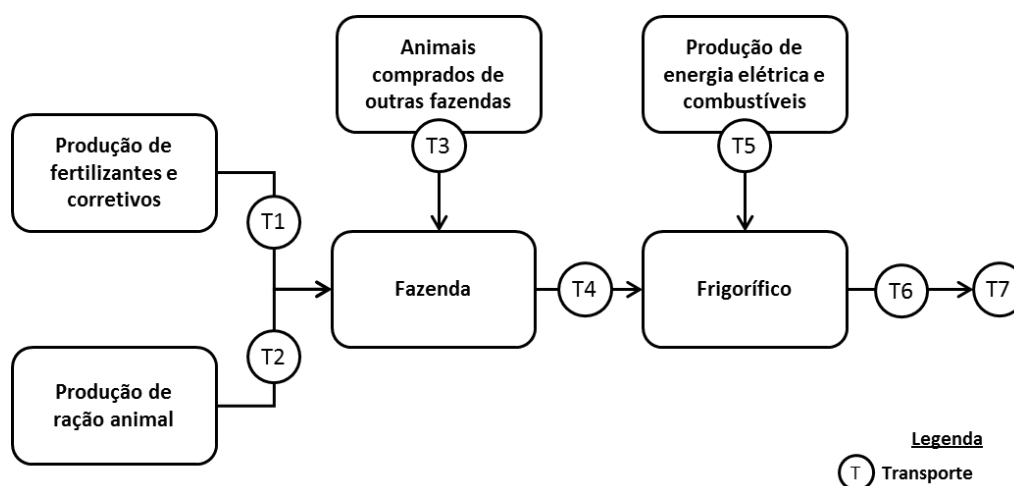
A seguir é apresentado em detalhes a delimitação do escopo do estudo de PC da carne bovina brasileira, respectivamente nas seções 2.2 a 2.6.

A descrição detalhada dos dados e métodos utilizados para a elaboração dos inventários de produção pecuária e produção frigorífica é relatada nos Capítulos 3 e 4.

2.2. Sistema de produto

O sistema de produto analisado neste estudo compreende todas as atividades significativas relacionadas ao ciclo de vida da carne bovina produzida no Brasil, desde a produção dos insumos até sua chegada no porto. Assim, o estudo caracteriza-se como do tipo “berço ao porto de destino”, ou seja, não contempla as etapas de uso e de fim de vida do produto. De maneira geral, a produção da carne bovina estudada compreende as atividades descritas na Tabela 1 e pode ser representada conforme Figura 3:

Figura 3: Diagrama da produção de carne bovina desossada



Fonte: elaboração própria



Tabela 1: Etapas e processos considerados no ciclo de vida da carne bovina

Etapas do ciclo de vida	Processos considerados em cada etapa
Produção de fertilizantes e corretivos	Produção de fertilizantes Produção de corretivos
Transporte 1	Transporte dos fertilizantes e corretivos até a fazenda (T1)
Produção de ração animal	Cultivo dos componentes da ração animal Processos agrícolas associados
Transporte 2	Transporte da ração até a fazenda (T2)
Animais comprados de outras fazendas	Atividades de cria e recria Manejo de dejetos Mudança direta do uso da terra (dMUT) Transporte de animais da fazenda de origem para outra (T3)
Fazenda	Aplicação de fertilizantes e corretivos (manejo de pastagem) Atividades de cria, recria e engorda Manejo de dejetos Mudança direta do uso da terra (dMUT)
Transporte 4	Transportes de animais da fazenda para os frigoríficos (T4)
Produção de energia elétrica e combustíveis	Produção de energia elétrica Produção de combustíveis Transporte de energia elétrica e combustíveis até o frigorífico (T5)
Frigorífico	Consumo de energia elétrica e combustíveis Tratamento de efluentes Processos industriais
Exportação	Transporte de produtos até o porto de saída do Brasil (T6) Transporte de produtos até o porto de chegada na UE (T7)

Fonte: elaboração própria

A dimensão continental do país, a variedade de ecossistemas e a diversidade socioeconômica das regiões e do universo de produtores fazem com que a pecuária de corte brasileira apresente uma gama considerável de sistemas de produção de carne bovina (CEZAR et al., 2015). Para todos esses sistemas, a produção de bovinos de corte envolve as fases de cria, recria e engorda, as quais podem ser desenvolvidas como atividades isoladas ou combinadas de forma a se complementarem (CEZAR et al., 2015). Quando essas fases acontecem em uma mesma fazenda, diz-se que ela possui um sistema de produção de ciclo completo.



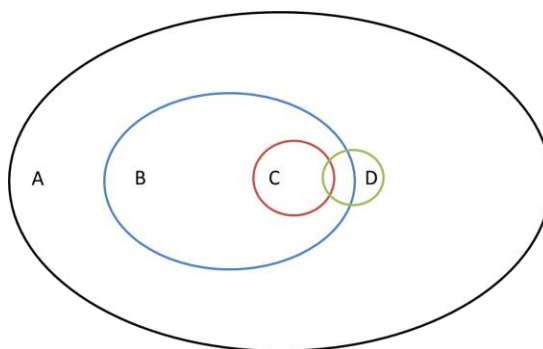
Para levar em consideração parte dessa heterogeneidade, foi realizada uma reunião preliminar com diferentes *stakeholders* do setor a fim de estabelecer quatro diferentes sistemas de produto:

- Sistema de produto A – Carne bovina produzida no Brasil (caso geral);
- Sistema de produto B – Carne bovina produzida no Brasil e exportada para a UE;
- Sistema de produto C – Carne bovina produzida no Brasil e exportada para a UE via cota Hilton;
- Sistema de produto D – Carne bovina produzida no Brasil com boas práticas ambientais em programas estruturados.

É importante mencionar que a definição dos sistemas de produto foi uma etapa anterior à coleta de dados primários nas fazendas. Após essa definição, foi solicitado que os frigoríficos parceiros do Projeto indicassem algumas fazendas que se encaixassem nos sistemas de produto B, C e D. Apesar dessa divisão, os grupos B, C e D apresentam sistemas produtivos semelhantes. Portanto, não são esperadas correlações entre os resultados da PC e parâmetros tecnológicos e/ou zootécnicos desses sistemas.

Cada um desses quatro sistemas de produto representa um determinado recorte da produção brasileira; cada recorte, por sua vez, ainda possui uma grande diversidade dentro dele. A Figura 4 apresenta a relação entre os produtos analisados, descritos na sequência.

Figura 4: Relação entre os produtos analisados no estudo



Fonte: elaboração própria

Informações detalhadas sobre os sistemas de produção de gado de corte, a qualidade da carne bovina e sobre regulação da exportação de carne não são tratados neste relatório. Para maiores informações sobre esses temas consulte o outro relatório complementar do projeto PCCBB: “Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia: análise da cadeia produtiva e aspectos ambientais”, bem como a literatura específica do setor.



2.2.1. Sistema de produto A

O sistema de produto A (carne bovina produzida no Brasil – caso geral) buscou modelar o cenário mais representativo da produção no Brasil, levando em consideração o bioma, o sistema de produção adotado, as raças de gado utilizadas, entre outros parâmetros. O produto A refere-se, portanto, à carne bovina produzida no Brasil tanto para consumo interno quanto externo e serve como “cenário base” para a análise de resultados apresentada no Capítulo 5.

Os dados desse sistema de produto foram retirados do Projeto ICVAgroBR coordenado pela Embrapa Meio Ambiente que teve como objetivo fornecer para a base de dados ecoinvent inventários representativos dos sistemas de produção brasileiros. Os sistemas modelados localizam-se no Cerrado e apresentam vários níveis de uso de tecnologia: com manejo de pastagem mais ou menos intenso, com mais ou menos suplementação alimentar, com e sem confinamento. Além disso, incluem diferentes sistemas de produção pecuária: ciclo completo; cria e recria e engorda (FOLEGATTI-MATSUURA; PICOLI, 2018). A Tabela 2 apresenta os estados brasileiros mais representativos no abate de bovinos em 2018.

Tabela 2: Peso total das carcaças dos bovinos abatidos em 2018 no Brasil

Estado	Peso das carcaças (toneladas)	Representatividade	Representatividade acumulada
Mato Grosso	1.393.787	18%	18%
Mato Grosso do Sul	828.248	10%	28%
Goiás	821.182	10%	38%
São Paulo	809.382	10%	48%
Minas Gerais	671.317	8%	57%
Pará	650.655	8%	65%
Rondônia	591.392	7%	72%
Rio Grande do Sul	469.955	6%	78%
Paraná	349.701	4%	83%
Bahia	295.848	4%	87%
Outros	1.073.277	13%	100%
TOTAL	7.954.742	-	-

Fonte: adaptado de IBGE (2019)



2.2.2. Sistema de produto B

Esse sistema procurou representar a carne “padrão” brasileira exportada para a União Europeia. De maneira geral, é uma carne que tem maior valor agregado em relação à carne exportada para outros países e blocos econômicos e se diferencia da carne produzida para consumo interno no Brasil. Cabe destacar que é necessário que as propriedades rurais e também os frigoríficos voltados à exportação precisam de um cadastro e autorização específicos para tal finalidade, atividade regulamentada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A demanda do mercado internacional está principalmente nas carcaças de animais com até 30 meses de idade, machos castrados e alta porcentagem de marmoreio (acúmulo de gordura intramuscular).

Conforme pode ser observado na Tabela 3, a carne bovina exportada para a UE representou, em 2018, 7% em volume de toda a exportação brasileira e 11% da receita proveniente das exportações (ABIEC, 2019a). Por outro lado, a carne brasileira representou 41% de toda carne bovina importada pela UE em 2018 (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

Tabela 3: Principais destinos da carne bovina brasileira exportada em 2018

País	Volume (toneladas)	Participação (volume)	Faturamento (mil US\$)	Participação (faturamento)
Hong Kong	394.856	24%	1.487.115	23%
China	322.415	20%	1.437.396	22%
Egito	180.812	11%	526.165	8%
União Europeia	118.317	7%	728.164	11%
Chile	114.959	7%	467.837	7%
Irã	84.045	5%	328.221	5%
Arábia Saudita	42.548	3%	156.248	2%
Emirados árabes	36.821	2%	143.047	2%
EUA	32.404	2%	266.307	4%
Filipinas	27.264	2%	86.856	1%
Outros	288.602	18%	944.947	14%
Total	1.643.044	100%	6.572.303	100%

Fonte: adaptado de ABIEC (2019a)

A Tabela 4 apresenta os estados brasileiros onde se localizam as propriedades rurais aptas à produção de carne bovina destinada à exportação em 11 de junho de 2019, segundo MAPA (2019b). Há também um controle sobre os frigoríficos aptos a produzirem a carne bovina “in natura” que será exportada para UE; a Tabela 5 apresenta quais são os principais frigoríficos aptos.



Tabela 4: Estados onde se localizam as propriedades rurais aptas a vender animais que serão utilizados para produção de carne para exportação à UE

Estado	Número de fazendas
Mato Grosso	459
Goiás	402
Minas Gerais	286
Mato Grosso do Sul	257
São Paulo	128
Rio Grande do Sul	92
Paraná	22
Espírito Santo	7
Total	1.653

Fonte: adaptado de MAPA (2019b)

Tabela 5: Empresas responsáveis pelos frigoríficos aptos a exportar carne bovina para a UE

Empresas	Quantidade de frigoríficos
JBS S. A	18
MARFRIG GLOBAL FOODS S. A.	7
MINERVA S. A.	6
MATABOI ALIMENTOS LTDA	3
FRISA - FRIGORÍFICO RIO DOCE S. A.	2
OUTROS	10
TOTAL	46

Fonte: adaptado de MAPA (2019b)

2.2.3. Sistema de produto C

O sistema de produto C representou a carne bovina exportada para a UE via Cota Hilton. A Cota Hilton é constituída de cortes especiais do quarto traseiro, de novilhos precoces, abatidos com até 4 dentes incisivos, boa conformação e cobertura de gordura adequada às normas da União Europeia (JBS, 2017). Além disso, deve-se garantir que os cortes selecionados provenientes dos novilhos sejam exclusivamente alimentados com pasto e possuam rastreabilidade desde o desmame (UNIÃO EUROPEIA, 2013). Seu preço geralmente é mais alto do que o da carne padrão exportada e existe um limite em volume para cada país produtor.

A Tabela 6 apresenta a quantidade de carne exportada pelo Brasil dentro da cota Hilton nos últimos três anos e a Tabela 7 apresenta quais são os principais frigoríficos aptos a exportar através dessa cota específica, seguindo as características exigidas.



Tabela 6: Exportação de carne bovina do Brasil para a UE via cota Hilton (toneladas)

Cota (limite)	2015/2016	2016/2017	2017/2018
10.000	9.289	8.572	5.057

Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2019)

Tabela 7: Principais frigoríficos aptos a exportar à UE via Cota Hilton

Empresas	Quantidade de frigoríficos aptos
JBS S. A.	16
MARFRIG GLOBAL FOODS S. A.	8
MINERVA S. A.	6
MATABOI ALIMENTOS LTDA	2
FRISA - FRIGORÍFICO RIO DOCE S. A.	2
VALE GRANDE INDUSTRIA E COMERCIO DE ALIMENTOS S/A	2
OUTROS	6
Total	42

Fonte: adaptado de MAPA (2019b)

2.2.4. Sistema de produto D

O sistema de produto D representa a carne bovina in natura produzida no Brasil a partir de animais criados em fazendas com boas práticas ambientais. Como o presente estudo não tem o objetivo de definir o que são as boas práticas, o critério adotado para caracterização desse grupo foi fazer parte da iniciativa voluntária “Mapa de Iniciativas da Pecuária Sustentável”, do Grupo de Trabalho para a Pecuária Sustentável (GTPS). A Figura 5 apresenta o referido mapa.

Figura 5: Mapa de Iniciativas da Pecuária Sustentável



Fonte: GTPS (2019)



Por ser um grupo mais heterogêneo e com grande diversidade de sistemas produtivos e localidades, não foi possível coletar dados primários de todas as fazendas participantes da iniciativa do GTPS. O site do GTPS não explicita quais são os critérios específicos ou exigências necessárias para que uma iniciativa faça parte do mapa supracitado; no entanto, no formulário de cadastro são solicitadas informações a respeito dos seguintes ações promovidas pela iniciativa (GTPS, 2019):

- Incentivo à assistência técnica
- Melhoramento genético/reprodução
- Bem-estar animal
- Manejo de pastagens
- Gestão de propriedade
- Política pública

2.3. Unidade declarada

Este estudo seguiu as recomendações da RCP “Carne de mamíferos” (EPD INTERNATIONAL, 2012). Segundo esse documento, se o estudo não abrange todo o ciclo de vida do produto (berço ao túmulo), o conceito de unidade funcional é substituído pela unidade declarada (UD). Nesses casos, a UD deve referir-se às aplicações típicas dos produtos, de modo que todos os resultados devem ser referentes à UD (EPD INTERNATIONAL, 2017). Portanto, no presente estudo não serão definidos função, unidade funcional e fluxo de referência.

Assim, UD adotada neste estudo foi de 1 kg de carne bovina desossada² refrigerada, seguindo as recomendações da RCP “Carne de mamíferos” (EPD INTERNATIONAL, 2012). A escolha da UD tem implicações importantes para a interpretação dos resultados em estudos de ACV.

Unidade declarada: 1 kg de carne bovina desossada refrigerada

² Entende-se por carne bovina desossada a carne bovina desprovida de ossos ou outras partes não comestíveis (EPD INTERNATIONAL, 2012).



2.4. Fronteiras do sistema

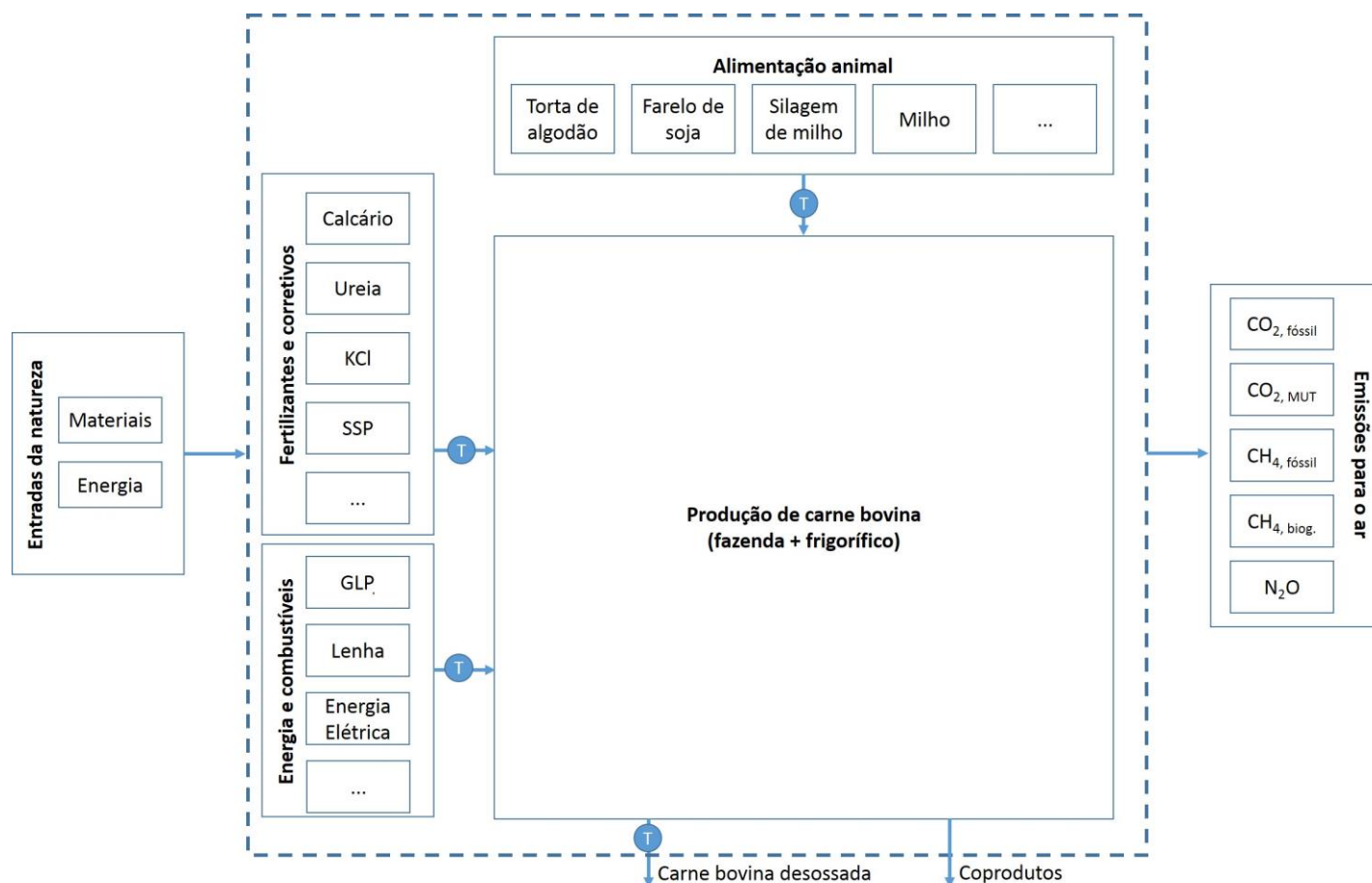
Para que seja possível quantificar as emissões de GEE do ciclo de vida da carne bovina é necessário compreender as etapas e processos que ocorrem dentro do sistema analisado e conhecer as fontes com potencial de emissão.

As fronteiras do sistema deste estudo estão apresentadas na Figura 6 e incluem: a etapa de produção de carne bovina (fazenda e frigorífico); as etapas de produção de fertilizantes aplicados nas pastagens, suplementos e ração (produção e cultivo de grãos), combustíveis e energia; as etapas de transporte e exportação. As atividades de transporte de insumos e de produtos intermediários também foram incluídas. As etapas de uso e fim de vida do produto não fazem parte das fronteiras do sistema estudado.

Na etapa da fazenda, os seguintes processos não foram considerados: infraestrutura, animais de trabalho, consumo de pesticidas, energia, combustíveis, produção e uso de produtos farmacêuticos e micronutrientes. Já na etapa do frigorífico não foram incluídos: embalagem, produtos químicos utilizados no sistema de tratamento de efluentes e no sistema de refrigeração. Outros estudos de PC de carne bovina brasileira assumiram as mesmas premissas, visto que essas emissões são pouco significativas para a categoria de impacto Mudanças Climáticas (BURATTI et al., 2017; CEDERBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; FLORINDO et al., 2017; PICOLI, 2017; RUVIARO et al., 2015)



Figura 6: Fronteiras do sistema de produção de carne bovina no Brasil



Fonte: elaboração própria

2.5. Procedimentos de alocação

Os processos que ocorrem no frigorífico dão origem a vários produtos: carne, couro, sangue, ossos, gordura, aparas de carne e tripas (PACHECO, 2006). Portanto, é necessário aplicar algum método de alocação para o estudo.

A escolha do procedimento de alocação em processos que gerem mais de um produto (processos multifuncionais) é uma das questões mais controversa em estudos de ACV, pois o critério de alocação adotado exerce grande influência sobre o resultado final (WEIDEMA; SCHMIDT, 2010).

O presente estudo segue a determinação da RCP do setor (EPD INTERNATIONAL, 2012) e utiliza a alocação econômica para partilhar as emissões entre os diversos produtos que saem de um frigorífico.



Para os coprodutos agroindustriais e outros processos de *background* (como farelo de soja, farelo de algodão, entre outros) utilizou-se os valores de alocação econômica utilizados pela base de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016), sem nenhuma adaptação.

Para os dejetos utilizados como adubo nas pastagens, não foi realizado nenhum procedimento de alocação, visto que esse elemento não ultrapassa a fronteira do sistema analisado. Na abordagem *top-down* não se fez distinção da carne de machos, touros ou vacas e, portanto, não foi necessária alocação.

2.6. Métodos de avaliação de impacto ambiental

A métrica mais comumente usada para comparar os GEE em ACV e PC é o potencial de aquecimento global de 100 anos (*Global Warming Potential* – GWP 100), mas outras métricas são cada vez mais discutidas na literatura, principalmente o potencial de mudança de temperatura global (*Global Temperature change Potential* – GTP) (LYNCH, 2019; PERSSON et al., 2015).

Como pode ser observado na Tabela 8, a escolha da métrica e do horizonte temporal pode ter um grande impacto sobre a PC de produtos agropecuários, especialmente aquelas associadas à pecuária ruminante, devido à grande quantidade de emissões de metano biogênico e óxido nitroso.

O presente estudo segue a determinação da RCP do setor (EPD INTERNATIONAL, 2012) e utiliza como fator de caracterização a métrica GWP 100 anos descrita na Tabela 8, conforme o quinto relatório do IPCC – AR5 (IPCC, 2013). Os gases considerados para a correlação dos resultados de ICV à categoria de impacto (classificação) foram: CO₂, fóssil, CO₂, dMUT, CH₄, biogênico, CH₄, fóssil e N₂O, visto que eles representam mais de 99% dos GEE dos processos estudados. Uma análise de sensibilidade foi conduzida utilizando-se outros conjuntos de fatores de caracterização; os resultados dessa análise são apresentados no Capítulo 6. Vale ressaltar que o presente estudo não faz uso de elementos opcionais da AICV, como normalização, agrupamento ou ponderação.



Tabela 8: GWP e GTP dos GEE avaliados neste estudo, de acordo com o quinto relatório do IPCC (AR5)

Substância	GWP (20 anos)	GWP (100 anos)	GTP (20 anos)	GTP (50 anos)	GTP (100 anos)
Dióxido de carbono (CO ₂)*	1	1	1	1	1
Metano biogênico (CH ₄ , biogênico)	84	28	67	14	4
Metano fóssil (CH ₄ , fóssil)	85	30	68	15	6
Óxido nitroso (N ₂ O)	264	265	277	282	234

* CO₂, fóssil e CO₂, dMUT possuem o mesmo fator de caracterização.

Fonte: IPCC (2013)



3. COLETA DE DADOS

Neste capítulo, são apresentados os dados utilizados para o cálculo da pegada de carbono dos produtos. Os dados de entrada e procedimentos de coleta são apresentados a seguir para as etapas da produção de carne bovina (dados da fazenda e do frigorífico) e para as demais etapas do ciclo de vida (transporte e exportação).

A qualidade dos dados coletados na fase de elaboração dos ICV está fortemente relacionada à representatividade do estudo de ACV, tornando imprescindível a consideração das particularidades da região onde é realizado.

Para a elaboração do presente estudo, foram coletados dados primários dos principais processos ligados à cadeia de produção da carne (fazenda e frigorífico) e dados secundários para informações sobre processos de *background*, transporte e exportação. A única exceção se refere ao sistema de produto A, onde os dados referentes à produção pecuária foram retirados da base de dados ecoinvent v3.6, *dataset "cattle for slaughtering, live weight {BR}| market for | Cut-off, U"* (FOLEGATTI-MATSUURA; PICOLI, 2018; WERNET et al., 2016).

A fim de não expor os dados sensíveis dos parceiros do projeto, as informações que resultaram da coleta de dados primários foram apresentadas de forma anônima e aleatória – tanto das unidades frigoríficas (identificadas por FG) quanto das fazendas (identificadas por FZ). Os dados primários das fazendas e dos frigoríficos não são apresentados na forma de ICV devido ao acordo de confidencialidade firmado com os parceiros.

É importante ressaltar que os dados primários coletados para a execução deste estudo são de caráter auto declaratório, ou seja, não sofreram nenhum tipo de verificação para assegurar a veracidade das informações fornecidas.

Foram estabelecidos três requisitos para avaliação da qualidade dos dados: cobertura temporal, cobertura geográfica e cobertura tecnológica. No caso da cobertura temporal foi definido que todos os dados das fazendas e dos frigoríficos deveriam ser relativos ao ano de 2018. Para a cobertura geográfica, a única exigência era que as fazendas e os frigoríficos se localizassem no Brasil. Quanto à cobertura tecnológica, as fazendas e os frigoríficos deveriam estar de acordo com os sistemas de produto definidos na seção 2.2.

Além disso, a consistência dos dados foi avaliada por meio de uma análise minuciosa de todo o conjunto de dados coletados, a fim de identificar valores fora do padrão. Nesses casos específicos, os dados foram questionados com os responsáveis pelo preenchimento e/ou descartados.



3.1. Fazenda

A produção pecuária considerou as fases de cria, recria e engorda do animal na fazenda e envolveu os processos de alimentação animal, reprodução animal, manejo de pastagens, manejo de dejetos, confinamento, entre outros.

Como dito anteriormente, nesta etapa as práticas agropecuárias são diversas e podem variar muito de fazenda para fazenda. Como o estudo considerou quatro tipos de sistemas produtivos diferentes, buscou-se coletar dados específicos para cada tipo. Para garantir a uniformidade e consistência da informação coletada, foi elaborada uma ficha de coleta de dados (Anexo 2).

Com o apoio dos frigoríficos parceiros do projeto, a equipe teve acesso a dados primários das fazendas. Por questões de confidencialidade e/ou estratégicas, cada frigorífico optou por: a) fornecer os contatos das fazendas para que a equipe da FGV enviasse a ficha e coletasse os dados; ou b) realizar a coleta de dados diretamente com as fazendas, utilizando a mesma ficha de coleta de dados.

Dentre os três frigoríficos envolvidos no projeto, dois optaram pela opção a) e um optou pela opção b) de coleta de dados. A classificação das fazendas nos diferentes sistemas de produto (B, C ou D) foi informada pelas próprias unidades frigoríficas no momento do fornecimento das informações. Não foram coletados dados primários em fazendas para o sistema de produto A. Na prática, não foi possível diferenciar entre os sistemas B e C, visto que aspectos relacionados à qualidade da carne e aos índices zootécnicos não foram solicitados na ficha de coleta de dados.

Foram contatadas 44 fazendas, das quais apenas 26 enviaram de volta a ficha de coleta de dados preenchida (59% do total). Dentre as fazendas que responderam, três foram descartadas, pelos seguintes motivos: preenchimento incompleto ou falhas no preenchimento. Assim, optou-se por trabalhar com apenas 23 fazendas e prezar pela qualidade da informação, visto que dados com qualidade inapropriada podem levar a resultados incorretos e a conclusões distorcidas.

Idealmente buscou-se trabalhar com fazendas de ciclo completo (responsáveis pelas fases de cria, recria e engorda e sem compra de animais). Entretanto, verificou-se que esta é uma atividade muito pouco praticada pelo setor, sendo necessária a inclusão de fazendas que não fazem cria.

A coleta de dados primários das fazendas produtoras de bovinos de corte compreendeu informações relacionadas ao sistema de produção do ano de 2018, conforme Figura 7:



Figura 7: Dados coletados nas fazendas



Fonte: elaboração própria

Um dos maiores desafios do presente estudo foi exatamente a coleta de dados nas fazendas de gado de corte. As principais dificuldades encontradas foram:

- Limitação de tempo, recursos humanos e financeiros;
- Elaboração de formulário de coleta de dados claro, simples e completo;
- Engajamento dos pecuaristas na coleta e envio das informações;
- Sensibilidade com relação a dados estratégicos dos frigoríficos, como localização e contatos das fazendas fornecedoras; e
- Tempo de resposta (envio, análise, ajustes e completude das planilhas de dados).

Cabe ressaltar que, apesar das limitações e dificuldades, não foi encontrado na literatura nenhum outro estudo de PC de carne bovina brasileira que tenha conseguido coletar dados primários em quantidade de fazendas superior ao presente estudo (23 fazendas).

3.1.1. Cobertura geográfica

As 23 fazendas estudadas estão localizadas nos principais estados brasileiros produtores e exportadores de carne bovina: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. A localização das fazendas pode ser observada na Tabela 9 e na Figura 8. Por questões de confidencialidade, o município onde se localiza a fazenda não está sendo divulgado, apenas a região imediata onde ele se encontra.



Tabela 9: Cobertura geográfica das fazendas (coleta de dados primários)

Fazenda	Cobertura geográfica		Área (ha)	Sistema de produto
	Estado	Região imediata		
FZ 01	Mato Grosso	Jaciara	2.571	B
FZ 02	Mato Grosso	Tangará da Serra	6.000	C
FZ 03	Mato Grosso	Alta Floresta	610	D
FZ 04	São Paulo	Birigui-Penápolis	130	B
FZ 05	Minas Gerais	Frutal	600	B
FZ 06	Mato Grosso do Sul	Coxim	1.000	C
FZ 07	Goiás	Goiânia	150	C
FZ 08	São Paulo	São José do Rio Pardo – Mococa	653	B
FZ 09	Goiás	Goiás-Itapuranga	2.660	B
FZ 10	Mato Grosso	Sinop	2.375	D
FZ 11	Mato Grosso	Alta Floresta	530	D
FZ 12	Mato Grosso	Água Boa	3.000	D
FZ 13	Goiás	Quirinópolis	4.300	B
FZ 14	Minas Gerais	Uberlândia	510	C
FZ 15	Goiás	Ceres – Rialma – Goianésia	3.800	C
FZ 16	São Paulo	Adamantina – Lucélia	1.080	B
FZ 17	Mato Grosso	Sinop	3.670	D
FZ 18	Mato Grosso do Sul	Naviraí - Mundo Novo	3.000	B
FZ 19	Mato Grosso	Alta Floresta	740	D
FZ 20	Mato Grosso do Sul	Campo Grande	2.500	B
FZ 21	Goiás	Goiás – Itapuranga	825	C
FZ 22	Mato Grosso	Alta Floresta	1.100	D
FZ 23	Goiás	Goiás – Itapuranga	4.200	C

Fonte: elaboração própria



Figura 8: Cobertura geográfica das fazendas (coleta de dados primários)



Fonte: elaboração própria

3.1.2. Composição do rebanho no início do ano

A composição do rebanho é um dos fatores de grande importância no cálculo da PC da carne bovina. Na fazenda, a intensidade de emissão de GEE depende do tipo de animal, do sexo, do tipo e da quantidade de alimento e varia em função da idade e das diversas práticas de criação (MCTI, 2015a, 2015b).

Devido à sua importância, foram coletados dados do rebanho animal divididos nas três principais subcategorias: machos adultos, fêmeas adultas e jovens. Essas foram as mesmas subcategorias utilizadas pelo Relatório de Referência do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2015a, 2015b), documento utilizado como base para o cálculo das emissões de fermentação entérica e manejo de dejetos do presente estudo.

É importante observar que MCTI (2015a, 2015b) não traz a definição de jovens e adultos. Dessa forma, classificou-se como jovens os animais de até 1 ano de idade, conforme estabelecido na Ferramenta de Cálculo do GHG Protocol Agrícola (WRI, 2019).



A composição do rebanho varia ao longo do ano, em consequência da dinâmica de nascimentos, crescimento, compra, venda e mortalidade. No entanto, por questões práticas, a quantidade de animais de cada subcategoria foi solicitada de maneira estática, ou seja, representando uma data específica do ano. A quantidade de animais comprados varia conforme o ramo de atividade da fazenda. Assim, fazendas de cria e ciclo completo tendem a comprar menos animais do que fazendas de recria e engorda, já que nas duas primeiras há, necessariamente, nascimento de animais.

A ficha de coleta de dados enviada aos pecuaristas (Anexo 2) apresenta o seguinte texto no campo que solicita a composição do rebanho: “Estas informações representam uma “fotografia” da fazenda no primeiro dia do ano: 01/01/2018. Os animais comprados de outras fazendas durante o ano de 2018 NÃO devem fazer parte desta tabela”.

A composição do rebanho no primeiro dia do ano de 2018 e o ramo de atividade das 23 fazendas analisadas podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10: Composição do rebanho no primeiro dia do ano de 2018

Fazenda	Ramo de atividade	Rebanho (número de animais)			
		Jovens*	Machos	Fêmeas	TOTAL
FZ 01	Ciclo completo	597	5.255	742	6.594
FZ 02	Ciclo completo	3.900	190	4.900	8.990
FZ 03	Recria e engorda	1.134	0	1.352	2.486
FZ 04	Ciclo completo	60	326	73	459
FZ 05	Engorda	0	8.200	150	8.350
FZ 06	Ciclo completo	800	200	600	1.600
FZ 07	Ciclo completo	50	2.000	400	2.450
FZ 08	Ciclo completo	229	103	586	918
FZ 09	Recria e engorda	0	10.000	0	10.000
FZ 10	Recria e engorda	144	0	1.585	1.729
FZ 11	Recria e engorda	887	0	859	1.746
FZ 12	Ciclo completo	1.754	569	990	3.313
FZ 13	Recria e engorda	1.280	3.895	60	5.235
FZ 14	Engorda	0	3.226	0	3.226
FZ 15	Ciclo completo	1.500	2.500	400	4.400
FZ 16	Ciclo completo	300	2.400	2.100	4.800
FZ 17	Recria e engorda	1.920	109	2.983	5.012
FZ 18	Ciclo completo	6.000	3.000	1.000	10.000
FZ 19	Recria e engorda	799	0	1.049	1.848
FZ 20	Engorda	0	9.500	300	9.800
FZ 21	Recria e engorda	300	504	725	1.529
FZ 22	Recria e engorda	137	116	495	748
FZ 23	Ciclo completo	864	1.633	2.478	4.975

*machos e fêmeas de até 1 ano de idade.

Fonte: elaboração própria



3.1.3. Compra de animais ao longo do ano

Durante as três fases de produção de bovinos de corte, a comercialização de animais é uma prática comum e ocorre mesmo em fazendas ditas de ciclo completo. Os dados dos animais comprados pelas fazendas em 2018 são apresentados na Tabela 11. As fazendas 04, 05, 08, 09, 16, 18 e 20 não forneceram esta informação; a fazenda 02 informou que não realizou compra de animais em 2018.



Tabela 11: Animais comprados pelas fazendas em 2018

Fazenda	Quantidade (animais)					Peso vivo médio (kg)				Idade média (meses)			
	Jovens* (machos)	Jovens* (fêmeas)	Machos	Fêmeas	TOTAL	Jovens* (machos)	Jovens* (fêmeas)	Machos	Fêmeas	Jovens* (machos)	Jovens* (fêmeas)	Machos	Fêmeas
FZ 01 ¹	0	0	3.323	0	3.323	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
FZ 02	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
FZ 03	680	986	118	169	1.953	214	229	214	230	8	8	15	15
FZ 06 ²	0	700	0	0	700	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni	ni
FZ 07	1.500	150	1.500	300	3.450	200	180	300	300	10	10	20	20
FZ 10	1.015	3.286	57	3.091	7.449	218	196	239	279	8	8	15	15
FZ 11	517	217	312	67	1.113	226	233	252	238	8	8	16	15
FZ 12	0	470	0	0	470	-	225	-	-	-	9	-	-
FZ 13	1.280	0	3.895	0	5.175	185	-	185	-	10	-	19	-
FZ 14	0	0	3.226	0	3.226	-	-	480	-	-	-	24	-
FZ 15	1.500	150	1.500	300	3.450	200	180	300	300	10	10	20	20
FZ 17	5.595	470	2.298	2.321	10.684	200	197	230	248	8	8	16	15
FZ 19	1.287	0	98	0	1.385	193	-	225	-	8	-	15	-
FZ 21	400	1.200	310	90	2.000	270	255	300	320	10	10	24	26
FZ 22	806	0	195	142	1.143	182	-	240	208	8	-	15	25
FZ 23	1.580	0	0	0	1.580	180	-	-	-	10	-	-	-

Fonte: elaboração própria

Legenda:

*Jovens: até 1 ano;

ni: não informado;

¹ O pecuarista informou que houve a compra de 3.323 machos para reposição, mas não informou a idade dos animais; de forma conservadora, assumiu-se que todos os animais são adultos

² O pecuarista informou apenas que houve a compra de 700 bezerras



3.1.4. Vendas para o abate

Durante a produção de bovinos de corte nas fazendas, o principal produto comercializado é o gado criado para o abate. Além disso, touros e vacas com idade avançada e baixa performance são descartados do sistema de cria e também destinados para o abate.

Os dados relacionados aos animais vendidos para o abate por cada fazenda em 2018 podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12: Animais vendidos para o abate em 2018

Fazenda	Quantidade (animais)	Peso vivo médio (kg)	Idade média (meses)
FZ 01	3.701	550	30
FZ 02	3.700	470	22
FZ 03	1.372	393	23
FZ 04	40	600	36
FZ 05	12.076	552	30
FZ 06	800	520	16
FZ 07	2.400	600	30
FZ 08	216	460	20
FZ 09	10.000	550	30
FZ 10	3.787	379	21
FZ 11	1.126	378	23
FZ 12	1.076	467	26
FZ 13	3.893	550	34
FZ 14	9.651	330	30
FZ 15	2.000	510	30
FZ 16	4.600	500	24
FZ 17	2.413	388	20
FZ 18	6.000	520	27
FZ 19	864	388	27
FZ 20	8.800	520	24
FZ 21	2.000	504	15
FZ 22	423	401	30
FZ 23	2.786	510	40

Fonte: elaboração própria



3.1.5. Consumo de fertilizantes minerais e corretivos agrícolas

Durante as operações de manejo de pastagem (manutenção e reforma), fertilizantes e corretivos podem ser aplicados a fim de aumentar a produtividade e capacidade de ocupação da área. A quantidade, o tipo e a frequência de aplicação desses produtos variam de acordo com o nível de intensificação e estão discriminadas na Tabela 13. As fazendas 05, 06, 08, 09 e 22 não aplicaram fertilizantes ou corretivos em 2018.

Tabela 13: Utilização de fertilizantes e corretivos (em toneladas) – consumo total em 2018

Fazenda	Calcário dolomítico	Calcário calcítico	Gesso	Ureia	Cloreto de potássio	SSP	TSP	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	NPK 10-30-10	NPK 04-14-08	NPK 10-10-10	NPK 11-44-00	NPK 05-28-24	NPK 32-00-00	NPK 08-28-18
FZ 01	333		94										10		185	
FZ 02		800		30						130						
FZ 03				51	12		1									
FZ 04	130							20								
FZ 07	200			30	10					50						
FZ 10				29												
FZ 11				27		4										
FZ 12	600											8				
FZ 13	20	20		10	6		25			10	30					
FZ 14	158	95		95	63		110									
FZ 15	1.000			150	15					30						
FZ 16		648		108												
FZ 17		150		69			4		43					7		
FZ 18	1.800	600		600	300					900						
FZ 19				36												
FZ 20	1.500	1.500		375	250					875	875					
FZ 21	1.540															
FZ 23	300			38												86

Fonte: elaboração própria. SSP: superfosfato simples; TSP: superfosfato triplo.



3.1.6. Consumo de ração animal

Assim como o consumo de fertilizantes e corretivos, o consumo de ração animal na produção de carne bovina varia de acordo com o nível de tecnologia empregado no sistema. Os sistemas de cria são caracterizados por alimentação predominantemente a pasto; já os sistemas de recria e engorda, pelo maior consumo de ração animal (podendo ou não ser combinada com a alimentação a pasto).

Os produtos mais utilizados na composição da alimentação do gado são: milho, sorgo, farelo de soja, farelo de algodão, silagem de milho, silagem de sorgo, casca de soja, caroço de algodão e polpa cítrica. Os principais produtos utilizados para a alimentação dos animais das fazendas estudadas estão apresentados na Tabela 14. O consumo de suplementos minerais (micronutrientes, vitaminas, aminoácidos), mesmo quando informado, foi descartado pela ausência desses inventários na base de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016) e pela baixa representatividade no contexto da PC.

Como pode ser observado na Tabela 14, há o consumo de ração animal mesmo nas fazendas classificadas com Cota Hilton (sistema de produto C). Isso ocorre, provavelmente, porque a forma de coleta de dados utilizada considera o rebanho completo da fazenda, e não distingue os animais que serão destinados à Cota Hilton dos demais.

É importante destacar que o estudo não estimou fatores de emissão específicos para fermentação entérica de acordo com o tipo de alimentação de cada rebanho. Os dados de consumo de ração animal coletados aqui foram utilizados para estimar apenas as emissões do cultivo dos componentes da ração, à montante da fazenda.



Tabela 14: Dados relacionados à alimentação dos animais (em toneladas) – consumo total por fazenda em 2018

Fazenda	Algodão, caroço	Algodão, farelo	Algodão, torta	Amendoim, farelo	Calcário	Cana, bagaço	Cana, silagem	Milho, DDG	Milho, grão	Milho, silagem	Mombaça, silagem	PGP	PCP	Sal, mineral	Soja, casca	Soja, grão	Soja, farelo	Sorgo, grão	Ureia pecuária
FZ 01	300	150	280			100			3.210										
FZ 02			1.000						2.700	6.500							1.310		
FZ 03					5			3	627		24			15		2	56		17
FZ 04							2			2									
FZ 05	541		1.080	841					1.722	13.020		321	4.714				1.321		393
FZ 06									900										
FZ 07									800	2.500							300		
FZ 08									90										109
FZ 09			3.500															6.500	
FZ 10					10			26	1.872		3.610			39		112	113		60
FZ 11					4			4	436					13			46		13
FZ 12			160						480										
FZ 13									1.320	46							500		
FZ 14				73					3.216	1.271									
FZ 15									1.500								90		
FZ 16						1.600	330		2.300				1.350	115			630		
FZ 17					10			6	1.654		32			36			127		0
FZ 18									1.800	3.000							400		
FZ 19					5			2	452		366			14		8	47		20
FZ 20									7.200	2.500							1.100		
FZ 21	48		360											25	45			1.800	35
FZ 22					0				22					11			6		0
FZ 23			500							1.605							20		

PCP: polpa cítrica peletizada; DDG: grão seco de destilaria; PGP: gordura protegida de palma

Fonte: elaboração própria.

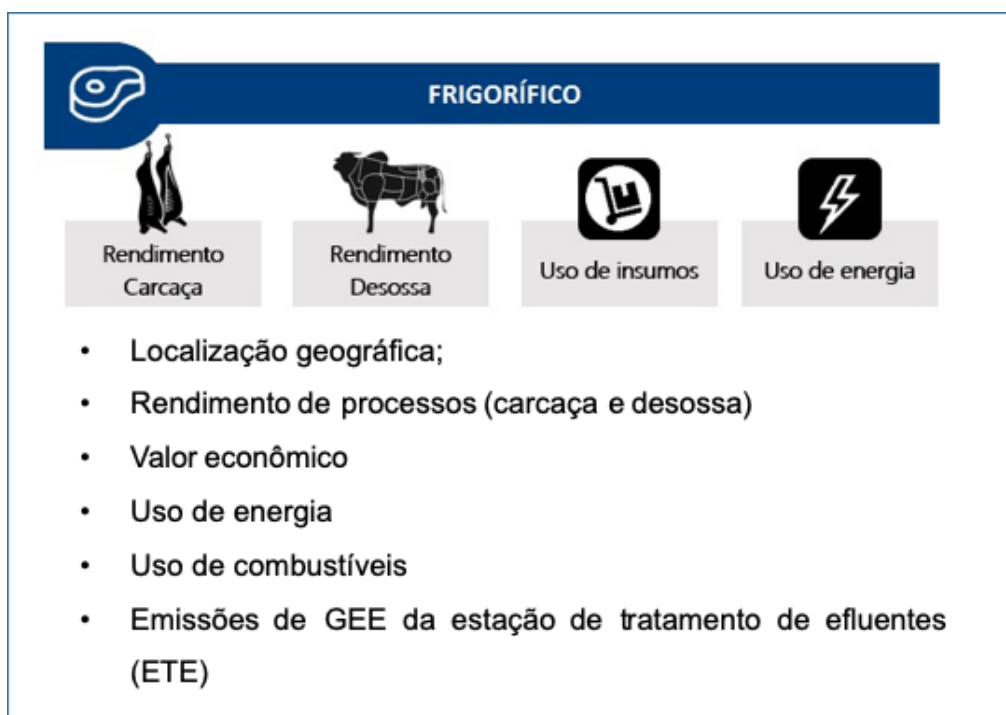


3.2. Frigorífico

A produção frigorífica se inicia com o recebimento do animal vivo e compreende, de modo geral, os seguintes processos: quarentena, abate, resfriamento da carcaça, desossa da carcaça, embalagem, armazenamento pré-expedição e expedição.

A coleta dos dados primários dos frigoríficos não incluiu as graxarias³, compreendendo apenas as informações relacionadas às unidades frigoríficas para o ano de 2018, conforme Figura 9:

Figura 9: Dados coletados nas unidades frigoríficas



Fonte: elaboração própria

No total, foram coletados dados primários de 11 unidades frigoríficas, de três empresas (JBS SA, Marfrig Global Foods e Minerva Foods). Dentre essas, duas unidades foram descartadas por possíveis erros de preenchimento, discrepâncias de algumas informações ou ausência de dados. O formulário de coleta de dados nos frigoríficos encontra-se no Anexo 3.

3.2.1. Cobertura geográfica

As unidades frigoríficas estudadas estão localizadas nos principais estados brasileiros produtores e exportadores de carne bovina: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo.

³ Graxarias são unidades industriais que produzem sebo e farinhas de carne e de ossos, a partir de materiais gerados pelo abate de bovinos.



3.2.2. Rendimentos de processos

Durante a produção frigorífica, importantes produtos são obtidos: duas meias carcaças⁴, geradas após o processo de abate; e diversas variedades de cortes de carne, gerados no processo de desossa das carcaças.

Os rendimentos desses dois processos são indicadores importantes para a gestão da indústria. O primeiro, conhecido como rendimento de carcaça, é definido como a relação entre o peso da carcaça (soma das duas meias carcaças resultantes do abate) e o peso vivo do bovino abatido. Em geral, o rendimento de carcaça de um bovino depende da raça, idade, sexo e estado corporal e representa cerca de 52% do peso vivo do animal (POORE; NEMECEK, 2018).

Já o rendimento de desossa em um frigorífico de bovinos é calculado após a desossa e refil (limpeza) da carcaça, e apresenta valores médios de 78% da carcaça resfriada (IEPEC, 2019).

Foram coletados dados de rendimento de carcaça e rendimento de desossa das três empresas frigoríficas participantes do estudo. Por questões de confidencialidade, os valores desagregados não são apresentados. Assim, considerou-se os valores médios para o cálculo de todas as unidades frigoríficas deste estudo, a saber: 55% de rendimento de carcaça e 73% de rendimento de desossa. Esses valores médios informados foram utilizados para realizar a correlação dos dados coletados à UD para a obtenção dos ICV.

Rendimentos

Rendimento de carcaça: 55% do animal abatido

Rendimento de desossa: 73% da carcaça

3.2.3. Valor econômico

A produção de carne bovina gera outros coprodutos além da carne bovina desossada, principalmente miúdos, graxarias (ossos, sebo, farinha), gordura não comestível, couro, etc. Como definido anteriormente, o presente estudo partilha as emissões entre produto e coprodutos com base na alocação por valor econômico.

Os valores monetários (em R\$) foram coletados das empresas frigoríficas, considerando a participação da carne bovina desossada em relação à receita anual de cada empresa no ano

⁴ Carcaça pode ser definida como animal morto, geralmente sem couro, com carne limpa, sem vísceras, patas e cabeça (ORMOND, 2006).



de 2018. Por motivos de confidencialidade, o valor é apresentado apenas de forma agregada. Assim, o fator de alocação econômica adotado foi de 85%, obtido pela média das empresas.

Carne bovina desossada
Fator de alocação econômica: 0,85

A Tabela 15 apresenta os fatores de alocação mássico e econômico para os principais produtos e coprodutos envolvidos na etapa de produção de carne no frigorífico.

Tabela 15: Fatores de alocação mássico e econômico

Etapa	Produto	Fator de alocação (%)	
		econômico	mássico
Frigorífico ¹	Carne bovina desossada	85	40
	Outros produtos	15	60

¹ Valores obtidos com dados de rendimento de processo e valor econômico, considerando todos os cortes de carne bovina desossada.

Fonte: Elaboração própria

3.2.4. Energia elétrica e combustíveis

Energia elétrica e combustíveis são utilizados em diversas atividades em uma indústria frigorífica: resfriamento, limpeza e esterilização, operação de máquinas e equipamentos, entre outras. Os combustíveis e energia elétrica utilizados nas unidades frigoríficas estudadas podem ser observados na Tabela 16. Vale lembrar que tais consumos dependem, entre outros aspectos, do volume processado, da extensão de processamento da carne. Por esse motivo, os valores apresentados são relativos ao número de animais abatidos por unidade frigorífica.

Tabela 16: Energia elétrica e combustíveis consumidos pelos frigoríficos (por animal abatido)

Frigorífico	Energia elétrica kWh	Bagaço de cana kg	Óleo BPF kg	Cavaco de madeira kg	GLP kg	Lenha m³	Óleo diesel B10 L
FG 01	75	-	-	-	0,08	0,047	0,003
FG 02	103	-	-	7,8	0,01	0,077	0,096
FG 03	139	290	-	-	0,19	-	-
FG 04	114	-	-	39	0,05	-	0,004
FG 05	62	-	-	-	-	0,207	0,003
FG 06	84	-	9,5	-	0,14	0,046	1,7
FG 07	77	-	-	-	0,17	0,076	0,031
FG 08	95	-	-	62	0,02	-	0,10
FG 09	74	-	-	-	0,13	0,039	0,09

Fonte: elaboração própria



É importante ressaltar que, dada a baixa relevância nas emissões de GEE, não foram coletados dados relacionados às embalagens e nem a produtos químicos utilizados nos processos de tratamento de efluentes, limpeza e sanitização.

Além disso, apesar de coletados, alguns combustíveis foram descartados por causa da pequena contribuição na PC da carne bovina. São eles:

- Casca de amendoim: utilizada somente no frigorífico 03, apresentou apenas 0,2% das emissões de GEE dessa unidade frigorífica;
- Sebo ácido: utilizado somente no frigorífico 01, apresentou apenas 0,03% das emissões de GEE dessa unidade frigorífica.

3.2.5. Emissões de GEE da ETE

As emissões de GEE da estação de tratamento de efluentes (ETE) podem apresentar uma contribuição relevante na etapa do frigorífico. As empresas envolvidas no presente estudo já elaboram o inventário corporativo de emissões de GEE e, portanto, já conhecem tais emissões. Dessa forma, as emissões de CH₄ e N₂O foram solicitadas diretamente na ficha de coleta de dados das unidades frigoríficas. Os valores declarados pelas empresas estão relatados na Tabela 17.

Tabela 17: GEE emitidos na ETE dos frigoríficos (por animal abatido)

Frigorífico	Emissões da ETE	
	kg CH ₄	kg N ₂ O
FG 01	1,83	0,0040
FG 02	1,73	0,0002
FG 03	3,62	0,0026
FG 04	3,13	0,0004
FG 05	0,81	0,0030
FG 06	1,81	0,0001
FG 07	0,29	0,0001
FG 08	0,83	0,0007
FG 09	0,67	0,0024

Fonte: elaboração própria



3.3. Transporte e exportação

Entre as diferentes etapas de produção da carne bovina, existe ainda o serviço de transporte, realizado por diferentes modais e carregando diversos produtos. Neste estudo, o transporte de diferentes produtos, em diferentes etapas do ciclo de vida foi avaliado, a saber:

Figura 10: Tipos de transporte considerados



Fonte: elaboração própria

As distâncias e modais dos transportes envolvidos neste estudo foram obtidos por meio de estimativas e consulta a dados secundários e aplicados para as estimativas de todos os produtos analisados. Para todos os casos, não foram consideradas possíveis perdas de materiais decorrentes do transporte.

Dadas as características geográficas e de infraestrutura, o transporte rodoviário é o mais utilizado no Brasil. Por esse motivo, tal modal foi escolhido para o transporte de insumos e produtos no território nacional. Já para o caso da exportação da carne bovina para a Europa, o transporte marítimo foi o adotado como padrão para os cálculos.

Para T3 e T5, foram utilizados os dados de transporte que já fazem parte da base de dados utilizada; nos demais, foi realizada uma estimativa para a distância percorrida. Na sequência, como sugere a norma ISO 14040, a consistência dessas estimativas foi testada com uma análise de sensibilidade e constatou-se uma baixa relevância das escolhas no resultado final.

A Tabela 18 a seguir apresenta as distâncias consideradas e o modal adotado em cada tipo de transporte envolvido na PC da carne bovina. Os detalhes das premissas consideradas são descritos nos tópicos seguintes.



Tabela 18: Distâncias consideradas nos diferentes modais de transporte

Transporte e exportação		
Trecho	Distância (km)	Meio de transporte
T1	100	rodoviário
T2	100	rodoviário
T3	ecoinvent*	ecoinvent*
T4	200	rodoviário
T5	ecoinvent*	ecoinvent*
T6	1.256	rodoviário
T7	10.056	Marítimo

* valores *default* da modelagem “*market for*” da base de dados ecoinvent v3.5.

Fonte: elaboração própria

3.3.1. Transporte de fertilizantes, corretivos agrícolas e ração animal para a fazenda (T1 e T2)

O transporte de fertilizantes e corretivos agrícolas (T1) compreende o deslocamento do local onde o produto é fabricado até a fazenda. Dada a alta complexidade em coletar dados primários para esse processo, aliada à sua baixa representatividade na PC, foi feita uma estimativa simplificada, assumindo-se uma distância igual a 100 km e o uso de modal rodoviário em caminhões Euro 4 com capacidade de 16 t. Foi realizada uma análise de sensibilidade e constatou-se que tais escolhas pouco influenciam o resultado final.

A modelagem dos transportes de ração animal para a fazenda seguiu o mesmo padrão adotado para os insumos agrícolas (T1) em relação ao modal de distribuição, capacidade de carga do caminhão e distância de transporte. Foi realizada uma análise de sensibilidade e constatou-se que tais escolhas pouco influenciam o resultado final.

3.3.2. Transporte dos animais comprados (T3)

No caso do transporte de animais vivos entre fazendas, quando ocorre a venda de um pecuarista para outro, considerou-se a modelagem de transporte “*market for*” com os valores *default* da base de dados ecoinvent v3.6 (FOLEGATTI-MATSUURA; PICOLI, 2018; WERNET et al., 2016), sem a execução de nenhum ajuste.

3.3.3. Transporte do animal vivo para o frigorífico (T4)

A modelagem dos transportes do animal vivo para o frigorífico também considerou o transporte em caminhões Euro 4, porém com capacidade de 32 t; estimou-se que a distância



entre a fazenda e o frigorífico fica em torno de 200 km, valor também utilizado por outros estudos. É importante lembrar que foi realizada uma análise de sensibilidade e constatou-se que tais escolhas pouco influenciam o resultado final.

3.3.4. Transporte de combustíveis para o frigorífico (T5)

O transporte de combustíveis para o frigorífico, assim como T3, considerou a modelagem existente na base de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016), adotando-se o *dataset* “market for” sem nenhuma alteração.

3.3.5. Exportação da carne desossada para a Europa (T6 e T7)

A exportação da carne bovina desossada in natura para a Europa compreende duas etapas: o deslocamento rodoviário da unidade frigorífica até o porto brasileiro (T6) e o deslocamento marítimo do porto brasileiro até o porto europeu (T7). Neste estudo, os portos escolhidos foram o Porto de Santos (ponto de saída do Brasil) – localizado no estado de São Paulo – e o Porto de Roterdã (ponto de chegada na UE) – localizado na Holanda.

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), o Porto de Santos é o principal porto utilizado para exportação de carne bovina, tendo representado cerca de 60% de todo o volume exportado em 2017 (ABIEC, 2019b). Já o Porto de Roterdã é o maior porto da Europa e um dos maiores do mundo, sendo a principal porta de entrada para diversos produtos brasileiros no continente Europeu (CEDERBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009). Ainda segundo a ABIEC, cerca de 82% da carne bovina é exportada in natura (ABIEC, 2019a).

Para T6, assumiu-se que a carne bovina foi transportada em caminhões refrigerados com capacidade de 16 t. A distância utilizada foi de 1.256 km e representa a média aritmética das distâncias de cada unidade frigorífica analisada até o porto de Santos, estimadas com o auxílio do Google Maps (GOOGLE, 2019).

Para T7, foi adotado o uso de navio cargueiro com sistema de refrigeração. A distância média de 10.056 km (ou 5.430 milhas náuticas) entre o Porto de Santos e o Porto de Roterdã foi obtida com o auxílio da ferramenta online sea-distances.org (SEA-DISTANCES.ORG, 2019), o que coincide com a estimativa feita por Cederberg; Meyer; Flysjö (2009).



4. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O presente capítulo apresenta a metodologia utilizada para a estimativa das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida da produção de carne bovina, abrangendo as emissões da fazenda, do frigorífico, dos transportes e de todas as outras etapas.

Fazer a modelagem dos processos que ocorrem na fazenda é uma tarefa bastante complexa dada a grande variabilidade de dados, diferentes sistemas produtivos e reprodutivos, além dos componentes zootécnicos específicos de cada fazenda. Como consequência, dependendo da abordagem adotada nessa modelagem, os resultados podem ser bastante diferentes. Assim, a seção 4.1 apresenta as diferentes abordagens existentes para o cálculo das emissões de GEE dentro da fazenda e a alternativa adotada no presente trabalho, que também constitui uma proposta para futuros estudos nesse mesmo escopo.

Para as estimativas das emissões foram consideradas informações da literatura científica, assim como os dados primários coletados (apresentados no Capítulo 3). Sempre que possível, foram utilizados dados de estudos brasileiros (MCTI, 2015a, 2015b; NOVAES et al., 2017; WERNET et al., 2016) e, na ausência de dados nacionais, recorreu-se aos dados de trabalhos estrangeiros (IPCC, 2013; WERNET et al., 2016). A modelagem da PC foi realizada no Microsoft Excel®.

4.1. Abordagens para a contabilização das emissões de GEE da fazenda

Avaliar as emissões de GEE que ocorrem em uma fazenda e relacioná-las a um animal em específico é um trabalho bastante complexo. Em primeiro lugar, trata-se de um sistema plurianual, no qual o animal pode levar mais de 4 anos para estar pronto para a venda e o abate. Além disso, o animal costuma passar por diversas fazendas até ser enviado para o abate no frigorífico. É comum pensar que fazendas de ciclo completo seriam, a princípio, mais simples para a modelagem, mas esse fato não foi verificado no presente estudo. Pelo contrário: os dados coletados apontaram que mesmo as fazendas que operam esse tipo de sistema não representam um “sistema fechado”, já que costumam comprar animais de outras fazendas; de modo geral, de dezenas de fazendas. Ainda, o tamanho do rebanho costuma variar de um ano para o outro, provocando diversos problemas na modelagem. Assim, faz-se necessária a aplicação de um método de cálculo adequado e específico para atender a realidade e particularidades das fazendas e, assim, obter resultados mais precisos e consistentes.



A contabilização das emissões de GEE da fazenda pode ser realizada por meio de duas abordagens: *top-down* e *bottom-up*. As seções a seguir detalham essas duas abordagens, bem como os respectivos métodos de cálculo.

4.1.1. Abordagem *top-down*

A maior parte dos estudos calcula as emissões de GEE da fazenda durante um ano, considerando o rebanho como um todo (*whole-herd basis*), e divide tais emissões pela quantidade de animais vendidos para o abate no mesmo ano. O presente estudo adota o termo *top-down* para esse tipo de abordagem, que é amplamente utilizada em diversos estudos (BOGAERTS et al., 2017; CERRI et al., 2016; DICK; ABREU DA SILVA; DEWES, 2015a; PELLETIER; PIROG; RASMUSSEN, 2010; PICOLI, 2017; RUVIARO et al., 2015).

No entanto, a abordagem *top-down* só é válida se o rebanho da fazenda estiver estabilizado, seguindo a chamada dinâmica média de rebanho. Isso significa dizer que o número de animais (cabeças de gado) no mesmo dia do ano na fazenda, em anos sucessivos, é sempre igual (DIAS et al., 2018). Por isso, essa premissa se aplica muito bem a rebanhos construídos por meio de modelos matemáticos, mas fica bastante prejudicada quando são coletados dados primários em fazendas reais. Na prática, a dinâmica média de rebanho praticamente não existe, pois, uma série de fatores levam a mudanças no rebanho de um ano para o outro. Os dados apresentados na Tabela 19 foram obtidos a partir da Equação 1, que utilizou dados primários coletados nas fazendas (apresentados nas Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12), deixando evidente a variação no número de animais que compõe o rebanho de um ano para o outro.

O rebanho no primeiro dia de 2019 foi obtido conforme a equação abaixo:

Equação 1

$$n_{rebanho,2019} = n_{rebanho,2018} + n_{compras} - n_{abate}$$

Sendo:

$n_{rebanho,2019}$ é a quantidade de animais do rebanho em 01/01/2019;

$n_{rebanho,2018}$ é a quantidade de animais do rebanho em 01/01/2018 (Tabela 10);

$n_{compras}$ é a quantidade de animais comprados pela fazenda em 2018 (Tabela 11);

n_{abate} é o número de animais vendidos para abate em 2018 (Tabela 12).



Tabela 19: Variação do tamanho do rebanho entre 01/01/2018 e 01/01/2019 em cada fazenda

Fazenda	Rebanho total (animais)		Aumento relativo
	01/01/2018 (n _{rebanho,2018})	01/01/2019 (n _{rebanho,2019})	
FZ 01	6.594	6.216	-6%
FZ 02	8.990	5.290	-41%
FZ 03	2.486	3.067	23%
FZ 04	459	419	-9%
FZ 05	8.350	-3.726	-145%
FZ 06	1.600	1.500	-6%
FZ 07	2.450	3.500	43%
FZ 08	918	702	-24%
FZ 09	10.000	0	-100%
FZ 10	1.729	5.391	212%
FZ 11	1.746	1.733	-1%
FZ 12	3.313	4.389	32%
FZ 13	5.235	6.517	24%
FZ 14	3.226	-3.199	-199%
FZ 15	4.400	5.850	33%
FZ 16	4.800	200	-96%
FZ 17	5.012	13.283	165%
FZ 18	10.000	4.000	-60%
FZ 19	1.848	2.369	28%
FZ 20	9.800	1.000	-90%
FZ 21	1.529	1.529	0%
FZ 22	748	1.468	96%
FZ 23	4.975	3.769	-24%

Fonte: elaboração própria

Como pode ser observado na Tabela 19, as fazendas 05 e 14 apresentam rebanho negativo em 01/01/2019 por se tratar de fazendas de engorda que fazem três ciclos de confinamento durante o ano (120 dias por ciclo).

O presente estudo não conseguiu coletar os dados relacionados à quantidade de animais nascidos em 2018 nas fazendas. Essa informação não foi solicitada na ficha de coleta de dados enviada aos pecuaristas, mas foi solicitada posteriormente. Infelizmente, nenhum pecuarista respondeu a esse questionamento posterior.

Para conhecer a dinâmica do rebanho ao longo do ano, é bastante importante saber quantos animais nasceram na fazenda. De forma a estimar tais dados, foi considerado que em todas as fazendas de ciclo completo houve nascimento de animais em 2018. Para estabelecer quantos animais nasceram, foi suposto que todas as fêmeas do rebanho são utilizadas para



reprodução, considerando o intervalo entre partos de 18 meses, de acordo com a Equação 2:

Equação 2

$$n_{\text{nascimentos}} = n_{\text{rebanho,fêmea}} \times \frac{12}{IP}$$

Sendo:

$n_{\text{nascimentos}}$ é a quantidade de animais nascidos em 2018;

$n_{\text{rebanho,fêmea}}$ é a quantidade de fêmeas no rebanho em 01/01/2018 (Tabela 10);

IP é o intervalo entre partos, período entre dois partos de uma fêmea reprodutora, em anos. Essa variável também foi considerada constante e adotou-se o valor médio brasileiro de 18 meses (CNA, 2018).

Após o cálculo do número de animais nascidos em 2018, o rebanho no primeiro dia de 2019 foi recalculado conforme a Equação 3 e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 20.

Equação 3

$$n_{\text{rebanho,2019}} = n_{\text{rebanho,2018}} + n_{\text{nascimentos}} + n_{\text{compras}} - n_{\text{abate}}$$

Sendo:

$n_{\text{rebanho,2019}}$ é a quantidade de animais do rebanho em 01/01/2019, considerando nascimentos;

$n_{\text{rebanho,2018}}$ é a quantidade de animais do rebanho em 01/01/2018 (Tabela 10);

$n_{\text{nascimentos}}$ é a quantidade de animais nascidos em 2018;

n_{compras} é a quantidade de animais comprados pela fazenda em 2018 (Tabela 11);

n_{abate} é o número de animais vendidos para abate em 2018 (Tabela 12).



Tabela 20: Variação do tamanho do rebanho entre 01/01/2018 e 01/01/2019 em fazendas de ciclo completo, considerando os nascimentos

Fazenda	Rebanho total (animais)			Aumento relativo
	01/01/2018 (n _{rebanho,2018})	Nascimentos ao longo de 2018 (n _{nascimentos})	01/01/2019* (n _{rebanho,2019})	
FZ 01	6.594	495	6.711	2%
FZ 02	8.990	3.267	8.557	-5%
FZ 04	459	49	468	2%
FZ 06	1.600	400	1.900	19%
FZ 07	2.450	267	3.767	54%
FZ 08	918	391	1.093	19%
FZ 12	3.313	660	5.049	52%
FZ 15	4.400	267	6.117	39%
FZ 16	4.800	1.400	1.600	-67%
FZ 18	10.000	667	4.667	-53%
FZ 23	4.975	1.652	5.421	9%

Fonte: elaboração própria

Como pode ser observado na Tabela 20, ao utilizar a abordagem *top-down*, é preciso ter muito cuidado com fazendas que estão aumentando ou diminuindo o tamanho do rebanho de um ano para o outro. Isso se dá, principalmente, porque os números do rebanho exercem grande influência nos resultados da PC, já que as emissões de GEE são distribuídas conforme o número de animais vendidos para abate.

Se o rebanho da fazenda está crescendo, isso quer dizer que a quantidade de animais vendidos para o abate é menor do que a quantidade de animais que nasceram na fazenda mais a quantidade de animais comprados. Nesse cenário, as emissões de GEE estão aumentando de um ano para o outro, mas a venda de animais não está aumentando no mesmo patamar. Portanto, uma fazenda com essa característica apresentará PC maior para cada animal vendido, distorcendo a realidade.

Por outro lado, se o rebanho de uma fazenda está diminuindo, a quantidade de animais vendidos para abate está aumentando acima da taxa de reposição de animais da fazenda. Nessa situação, a fazenda apresentará uma PC menor de seus animais vendidos, novamente distorcendo a realidade.

Essas alterações sazonais podem ocasionar grande influência nos estudos de PC elaborados pela abordagem *top-down*, dificultando a interpretação dos resultados, visto que as estimativas das emissões de GEE das fazendas estão diretamente relacionadas com a composição do rebanho bovino e a dinâmica de compra e venda de animais. Cabe ressaltar que, por se tratar de estudo de PC e não de inventário de emissões, e que as emissões são



relativas, esses fatores tornam-se cruciais para a obtenção de resultados relevantes e úteis ao final do estudo.

Na literatura, estudos com simulações de rebanho têm sido elaborados em diferentes regiões geográficas e sistemas de produção para estimar os impactos ambientais da produção de carne bovina (DICK; ABREU DA SILVA; DEWES, 2015a, 2015b; RUVIARO et al., 2015). Nesses casos, como se trata de um rebanho hipotético, o método *top-down* funciona bem porque o modelo prevê um rebanho estabilizado. Este não foi o caso do presente estudo, que partiu de dados primários das fazendas (e não de modelos matemáticos).

Para contornar a complexidade da dinâmica do rebanho bovino ao longo dos anos e, de certa forma, uniformizar os diferentes perfis de produção pecuária, o presente estudo propõe um método para “forçar” a estabilização do rebanho. Basicamente, a quantidade de animais vendidos para o abate durante o ano deve ser igual à quantidade de animais nascidos na fazenda mais a quantidade de animais comprados no mesmo ano. Em outras palavras, o número de animais que saem do sistema deve ser igual ao número de animais que entram no sistema. Dessa forma, devem ser realizados ajustes na composição real do rebanho (conforme informado pelas fazendas) para forçar um rebanho médio estabilizado.

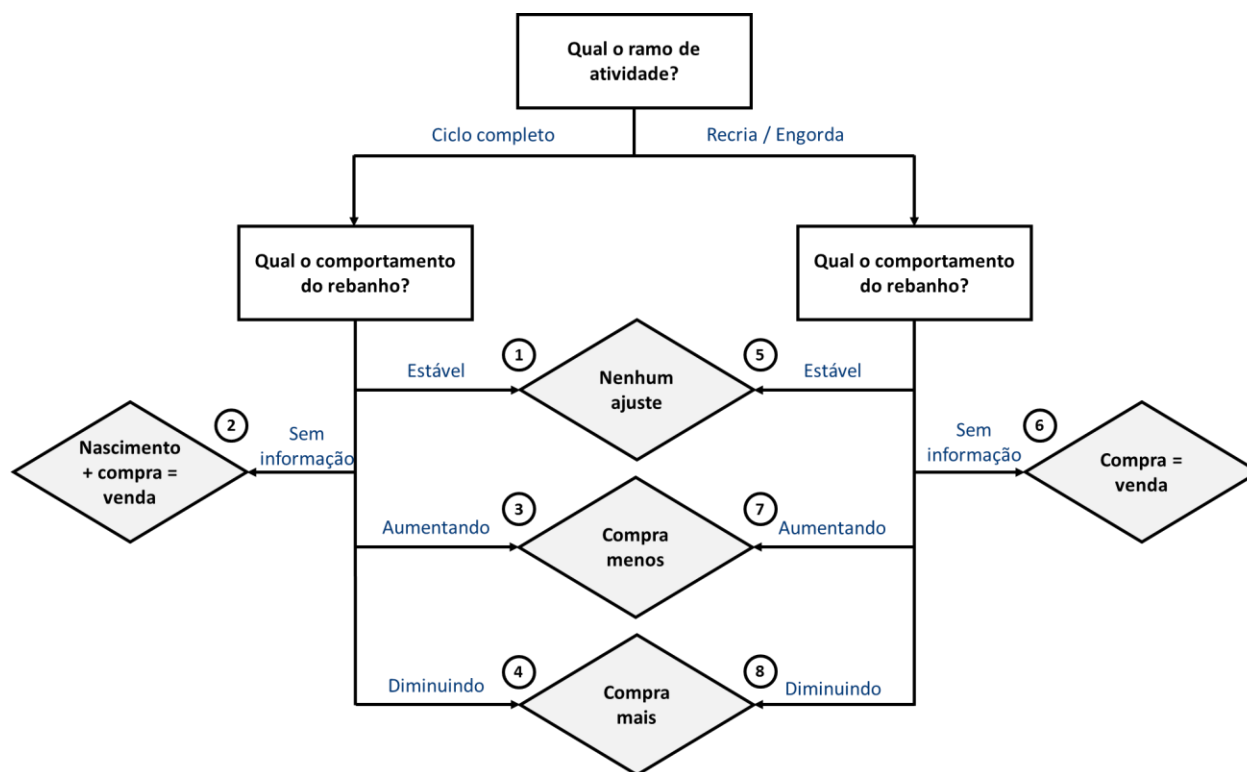
A Figura 11 apresenta uma árvore de decisão para a aplicação dos ajustes supracitados. Existem oito caminhos possíveis de ajuste nessa árvore, descritos a seguir:

1. Caso o rebanho esteja originalmente estável, nenhum ajuste é necessário (esse caso não aconteceu em nenhuma fazenda no presente estudo);
2. Caso o pecuarista não tenha informado dados sobre compra de animais e, caso a quantidade de animais que nasceu na fazenda não seja suficiente para atingir o número de animais vendidos, a diferença é complementada pela compra de animais de outras fazendas;
3. Caso o rebanho esteja aumentando motivado pela compra de animais, considera-se que a fazenda comprou apenas a quantidade de animais suficiente para a estabilização do rebanho;
4. Caso o rebanho esteja diminuindo, supõe-se que a fazenda comprou uma quantidade maior de animais, mantendo o rebanho estável;
5. Caso o rebanho seja originalmente estável, nenhum ajuste é necessário;
6. Caso o pecuarista não tenha informado dados de compra de animais, supõe-se que foi comprada exatamente a mesma quantidade de animais vendidos para abate;
7. Caso a fazenda tenha comprado mais animais do que os abatidos, considera-se apenas os animais comprados que tornam o rebanho estável;



8. Caso a fazenda tenha comprado menos animais do que os abatidos, considera-se que foram comprados mais animais, de forma a estabilizar o rebanho.

Figura 11: Árvore de decisão para forçar a estabilização do rebanho



Fonte: elaboração própria

Cada uma das 23 fazendas foi analisada segundo a árvore de decisão (Figura 11) para definir qual tipo de ajuste seria necessário. A Tabela 21 relaciona as fazendas com o tipo de ajuste que foi aplicado em cada uma. A FZ04 e a FZ08 apresentam um caso especial do ajuste 2: o rebanho aumenta apenas com a estimativa de nascimentos de animais; nesses casos, foi considerado que o rebanho é estabilizado apenas com os nascimentos, desprezando-se o aumento do rebanho.



Tabela 21: Comportamento do rebanho de cada fazenda e respectivos ajustes para estabilização

Fazenda	Ramo de atividade	Comportamento do rebanho	Ajuste (estabilização)
FZ 01	Ciclo completo	aumentando	3
FZ 02	Ciclo completo	diminuindo	4
FZ 03	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 04	Ciclo completo	sem informação	2
FZ 05	Engorda	sem informação	6
FZ 06	Ciclo completo	aumentando	3
FZ 07	Ciclo completo	aumentando	3
FZ 08	Ciclo completo	sem informação	2
FZ 09	Recria e engorda	sem informação	6
FZ 10	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 11	Recria e engorda	diminuindo	8
FZ 12	Ciclo completo	aumentando	3
FZ 13	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 14	Engorda	sem informação	6
FZ 15	Ciclo completo	aumentando	3
FZ 16	Ciclo completo	sem informação	2
FZ 17	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 18	Ciclo completo	sem informação	2
FZ 19	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 20	Engorda	sem informação	6
FZ 21	Recria e engorda	estável	5
FZ 22	Recria e engorda	aumentando	7
FZ 23	Ciclo completo	aumentando	3

Fonte: elaboração própria

Conforme ilustrado na Figura 11, a maioria dos ajustes realizados para a estabilização do rebanho envolve a alteração do número de animais comprados (n_{compras}) informada inicialmente pelos fazendeiros na Tabela 11. Assim, os novos dados sobre animais comprados pelas fazendas, após os ajustes para estabilização do rebanho podem ser observados na Tabela 22.

Para as fazendas que inicialmente não informaram dados de compra de animais, considerou-se a seguinte média de peso vivo e idade, independentemente do sexo do animal: 208 kg para jovens, 261 kg para adultos, 9 meses para jovens e 18 meses para adultos.



Tabela 22: Dados sobre animais comprados pelas fazendas, após ajustes para estabilização do rebanho

Fazenda	Quantidade (animais)				Peso vivo médio (kg)				Idade média (meses)			
	Jovens - machos	Jovens - fêmeas	Machos	Fêmeas	Jovens - machos	Jovens - fêmeas	Machos	Fêmeas	Jovens - machos	Jovens - fêmeas	Machos	Fêmeas
FZ 01	0	0	3.206	0	0	0	261	0	0	0	18	0
FZ 02	433	0	0	0	180	0	0	0	10	0	0	0
FZ 03	478	693	83	119	214	229	214	230	8	8	15	15
FZ 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FZ 05	0	0	12076	0	0	0	261	0	0	0	18	0
FZ 06	0	400	0	0	0	208	0	0	0	9	0	0
FZ 07	928	93	928	186	200	180	300	300	10	10	20	20
FZ 08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FZ 09	2.000	0	8.000	0	208	0	261	0	9	0	18	0
FZ 10	516	1671	29	1571	218	196	239	279	8	8	15	15
FZ 11	523	220	316	68	226	233	252	238	8	8	16	15
FZ 12	0	416	0	0	0	225	0	0	0	9	0	0
FZ 13	963	0	2930	0	185	0	185	0	10	0	19	0
FZ 14	0	0	9651	0	0	0	330	0	0	0	24	0
FZ 15	754	75	754	151	200	180	300	300	10	10	20	20
FZ 16	853	747	853	747	208	208	261	261	9	9	18	18
FZ 17	1264	106	519	524	200	197	230	248	8	8	16	15
FZ 18	2000	667	2000	667	208	208	261	261	9	9	18	18
FZ 19	803	0	61	0	193	0	225	0	8	0	15	0
FZ 20	4265	135	4265	135	208	208	261	261	9	9	18	18
FZ 21	400	1200	310	90	270	255	300	320	10	10	24	26
FZ 22	298	0	72	53	182	0	240	208	8	0	15	25
FZ 23	1134	0	0	0	180	0	0	0	10	0	0	0

Fonte: elaboração própria



Os dados da composição do rebanho no início do ano (Tabela 10), da compra de animais (Tabela 11), dos nascimentos (Tabela 20) e vendas para abate (Tabela 12) foram tratados para compor um rebanho médio estabilizado, ou seja, sem variações em sua composição entre um ano e outro, de forma que o número de animais no primeiro dia de 2018 seja igual ao número de animais no primeiro dia de 2019. A composição do rebanho das fazendas analisadas, após os ajustes, é apresentada da Tabela 23.

Tabela 23: Composição média do rebanho estabilizado (após ajustes), em número de animais

Fazenda	Jovens*	Machos	Fêmeas	TOTAL
FZ 01	480	5.517	597	6.594
FZ 02	4.020	186	4.785	8.990
FZ 03	1.347	32	1.106	2.486
FZ 04	60	326	73	459
FZ 05	0	4.025	0	4.025
FZ 06	889	178	533	1.600
FZ 07	390	1.716	343	2.450
FZ 08	229	103	586	918
FZ 09	667	9.333	0	10.000
FZ 10	591	7	1.132	1.729
FZ 11	951	119	675	1.746
FZ 12	1.846	535	932	3.313
FZ 13	1.284	3.907	44	5.235
FZ 14	0	3.226	0	3.226
FZ 15	1.599	2.403	397	4.400
FZ 16	825	2.120	1.855	4.800
FZ 17	2.099	297	2.615	5.012
FZ 18	5.789	3.158	1.053	10.000
FZ 19	973	25	850	1.848
FZ 20	1.518	8.028	254	9.800
FZ 21	665	398	466	1.529
FZ 22	223	119	406	748
FZ 23	1.285	1.466	2.224	4.975

Fonte: elaboração própria

*machos e fêmeas de até 1 ano de idade

Dessa forma, o presente estudo adota os dados do rebanho ajustado para efetuar os cálculos sob a abordagem *top-down*.



4.1.2. Abordagem *bottom-up* / híbrida

Uma outra abordagem possível é estimar as emissões de GEE da fazenda sob a perspectiva de um único animal, desde seu nascimento até o momento do abate. O presente estudo adota o termo *bottom-up* para essa segunda abordagem, que apesar de pouco utilizada, é mencionada em alguns documentos importantes da literatura (CEDERBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; EPD INTERNATIONAL, 2017). Além de ser pouco utilizada, os estudos que adotam tal perspectiva não detalham como a PC deve ser calculada sob essa abordagem.

A RCP do setor não deixa claro que a abordagem *bottom-up* deva ser utilizada, pois infelizmente não apresenta em detalhes como a coleta e o tratamento dos dados devem ser realizados. No entanto, traz diversos indícios de que essa seria a maneira adequada para a execução do estudo, a exemplo da Figura 12, extraída da RCP. A figura divide o ciclo de vida da fêmea reprodutora em 3 fases (Fase 1 – do nascimento até o início do período reprodutivo; Fase 2 – período reprodutivo, quando ocorre o nascimento de novos bezerros; Fase 3 – fim de vida do animal) e apresenta, inclusive, um detalhe muito importante: parte das emissões da progenitora do animal devem fazer parte da PC do animal em análise. Tal exigência não faria nenhum sentido do ponto de vista da abordagem *top-down*, pois todas as emissões do rebanho (incluindo das progenitoras) já estariam sendo contabilizadas de qualquer maneira.

Essa RCP também define que os impactos do ciclo de vida do macho reprodutor não devem ser contabilizados. Tal afirmação faz sentido na abordagem *bottom-up*, pois como o macho reprodutor dá origem a dezenas ou centenas de filhotes, seria pouco relevante alocar tais impactos para as crias. No entanto, a abordagem *top-down* olha para o rebanho como um todo, e não haveria nenhum motivo para excluir os impactos de tais animais.

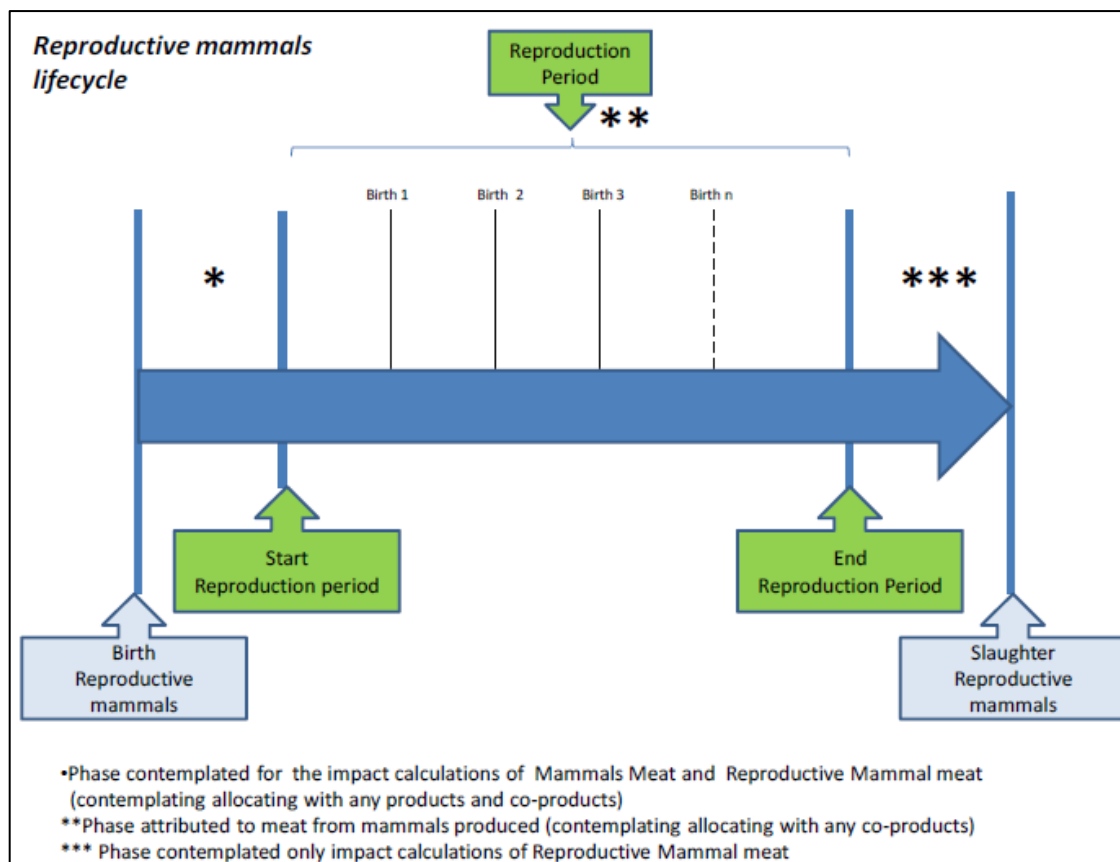
Por uma decisão metodológica, o presente estudo não considera as emissões atribuídas às Fases 1 e 3 da fêmea reprodutora, sendo computada na PC de um animal para o abate apenas as emissões da Fase 2 (período reprodutivo onde ocorre a geração de bezerros). Isto porque os autores discordam da RCP referida e acreditam que, assim como as emissões da Fase 3, as emissões da Fase 1 deveriam ser atribuídas apenas à fêmea reprodutora. De qualquer forma, como a média brasileira é de 5 filhotes por fêmea, as emissões da Fase 1 seriam repartidas entre mãe e 5 filhotes, resultando em um valor muito pequeno por cria.

Outra decisão metodológica ao avaliar as emissões de GEE ao longo da vida de um animal foi adotar como padrão o animal – macho ou fêmea – criado para o abate, e não o animal reprodutor. Em um rebanho, uma pequena fração da carne bovina provém de animais reprodutores descartados (vacas e touros). Dessa forma, seria possível sofisticar o estudo calculando também as emissões dos animais reprodutores pela abordagem *bottom-up* e



então realizar uma média ponderada das emissões da carne bovina proveniente de animais criados para o abate e reprodutores. Porém, o presente estudo adota uma abordagem mais simplificada e foca apenas no animal criado para o abate, considerado o mais representativo.

Figura 12: Ciclo de vida da fêmea reprodutora



Fonte: EPD INTERNATIONAL (2012)

Um estudo bastante conhecido sobre a pecuária brasileira, publicado na Suécia em 2009 (CEDERBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009), também menciona a abordagem *bottom-up*. A pesquisa é realizada sob uma abordagem *top-down* nacional, diferente da utilizada no presente estudo, a abordagem *top-down* por fazenda. Na discussão, o estudo sueco apresenta uma estimativa de como seria o cálculo da fermentação entérica adotando-se a abordagem *bottom-up*, inclusive utilizando esse termo. A maneira como o cálculo é realizado é bastante parecida com a aqui apresentada, com pequenas variações, como o intervalo entre partos adotado (20 meses). O estudo conclui que seria preferível utilizar a perspectiva *bottom-up*, mas não havia dados disponíveis para essa abordagem.

Os autores do presente estudo não conseguiram elaborar um método para calcular determinadas emissões sob a abordagem *bottom-up*, como: produção e aplicação de fertilizantes e corretivos, e produção de ração animal. Dessa forma, tais emissões foram



calculadas apenas segundo a abordagem *top-down*. Portanto, não serão apresentados resultados que seguem apenas a ótica *bottom-up*.

Para contornar essa situação, o presente estudo apresenta dois tipos de resultados, que idealmente, deveriam convergir para um mesmo número: híbrido e *top-down*. O modelo híbrido é uma composição das abordagens *bottom-up* e *top-down*, no qual o primeiro é complementado com resultados do segundo. As emissões dos machos reprodutores, assim como na *bottom-up*, também não são considerados na abordagem híbrida. A Tabela 24 indica qual modelagem pode ser utilizada para a contabilização de cada fonte de emissão do presente estudo, bem como a opção adotada no caso da abordagem híbrida.

Tabela 24: Abordagem metodológica para contabilização das fontes de emissão de GEE

	Fonte de emissão	Modelagem <i>bottom-up</i>	Modelagem <i>top-down</i>	Modelagem híbrida
E1	Fermentação entérica	sim	sim	<i>bottom-up</i>
E2	Manejo de dejetos (metano)	sim	sim	<i>bottom-up</i>
E3	Manejo de dejetos (óxido nitroso)	sim	sim	<i>bottom-up</i>
E4	Mudança direta de uso da terra	sim	sim	<i>bottom-up</i>
E5	Aplicação de fertilizantes e corretivos	não	sim	<i>top-down</i>
E6	Processos de background	não	sim	<i>top-down</i>

Fonte: elaboração própria

Nas seguintes seções são apresentadas as metodologias *top-down* e *bottom-up* para as diferentes fontes de emissão, nas diversas etapas do ciclo de vida da carne bovina.

4.2. Fazenda

Dentro da fazenda, ocorre uma parcela bastante relevante das emissões de GEE da produção de carne bovina, relacionada à fermentação entérica dos animais e à decomposição dos dejetos. Outras emissões diretas da fazenda ocorrem durante a utilização de fertilizantes nitrogenados e calcário no manejo das pastagens. Há ainda, as emissões ou remoções de carbono derivadas da dMUT das áreas de pastagem.

À montante da fazenda, ocorrem as emissões da produção dos insumos utilizados na fazenda de gado de corte e da dMUT das áreas de produção dos grãos que fazem parte da ração animal.



4.2.1. Emissões derivadas da fermentação entérica

As emissões de metano biogênico ($\text{CH}_{4,\text{biogênico}}$ ou $\text{CH}_{4,\text{b}}$) derivadas da fermentação entérica dos animais foram estimadas aplicando os fatores de emissões propostos no Relatório de Referência do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCTI, 2015a), que foram calculados de acordo com a metodologia *Tier 2* do IPCC (IPCC, 2006). É importante destacar que o presente estudo não considerou informações específicas do tipo de alimentação de cada fazenda (como ingestão de energia bruta, digestibilidade, etc) para a estimativa das emissões da fermentação entérica.

A Tabela 25 apresenta os fatores de emissões de metano provenientes da fermentação entérica de gado de corte utilizados neste estudo. Os valores adotados são referentes ao ano mais recente inventariado pelo Relatório de Referência, 2010.

Tabela 25: Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte

Estado	Fator de emissão (kg $\text{CH}_{4,\text{biogênico}}$ / animal / ano)		
	Machos	Jovens	Fêmeas
Goiás	51	40	66
Mato Grosso	51	40	64
Mato Grosso do Sul	51	40	62
Minas Gerais	52	41	70
São Paulo	52	41	64

Fonte: MCTI (2015a)

Modelagem Bottom-up

Na abordagem *bottom-up*, as emissões de metano biogênico por animal são contabilizadas pelo ponto de vista de um único animal da fazenda, desde sua concepção até o abate. As equações utilizadas por esta abordagem são:

Equação 4

$$E_{1,\text{bottom-up}} = (E_{1,\text{jovem}} + E_{1,\text{adulto}} + E_{1,\text{progenitora}})$$

Sendo:

$E_{1,\text{bottom-up}}$ é a emissão de metano por fermentação entérica ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *bottom-up*, em kg CH_4 / animal;

$E_{1,\text{jovem}}$ é a emissão de metano por fermentação entérica do animal enquanto ele é jovem (do nascimento até 12 meses de idade), em kg CH_4 / animal / ano;



$E_{1,adulto}$ é a emissão de metano por fermentação entérica do animal enquanto ele é adulto (de 12 meses até o abate), em kg CH₄ / animal / ano;

$E_{1,progenitora}$ representa a parte da emissão de metano por fermentação entérica da progenitora que é alocada para o filhote, em kg CH₄ / animal / ano.

Equação 5

$$E_{1,jovem} = FE_{jovem} \times Tempo_{jovem}$$

Sendo:

FE_{jovem} é o fator de emissão da categorial animal jovem, em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 25);

$Tempo_{jovem}$ é o período no qual o animal permanece na categoria jovem, em anos. Como nenhum animal é abatido com menos de um ano, essa variável permaneceu constante em 1 ano.

Equação 6

$$E_{1,adulto} = \left[\left(FE_{macho} \times \frac{n_{rebanho,macho}}{n_{rebanho,macho} + n_{rebanho,fêmea}} \right) + \left(FE_{fêmea} \times \frac{n_{rebanho,fêmea}}{n_{rebanho,macho} + n_{rebanho,fêmea}} \right) \right] \times (Idade_{abate} - Tempo_{jovem})$$

Sendo,

$Idade_{abate}$ é a idade do animal no momento do abate, em anos (Tabela 12);

FE_i é o fator de emissão na categorial animal i, em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 25);

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categorial animal i (Tabela 23).

Equação 7

$$E_{1,progenitora} = FE_{fêmea} \times IP$$

$FE_{fêmea}$ é o fator de emissão na categorial animal fêmea (adulta), em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 25);

IP é o intervalo entre partos, período compreendido entre dois partos de uma fêmea reprodutora, em anos. Essa variável também foi considerada constante e adotou-se o valor médio brasileiro de 1,5 anos (18 meses) (CNA, 2018).

Modelagem Top-down

Na abordagem *top-down*, as emissões de metano biogênico são contabilizadas do ponto de vista da fazenda, considerando as emissões de todo o rebanho ao longo de um ano. Para



estabelecer as emissões de 1 animal, o valor total é dividido pelo número de animais abatidos no mesmo ano. As equações utilizadas por esta abordagem são:

Equação 8

$$E_{1,top-down} = \frac{(FE_{jovem} \times n_{rebanho,jovem}) + (FE_{macho} \times n_{rebanho,macho}) + (FE_{fêmea} \times n_{rebanho,fêmea})}{n_{abate}}$$

$E_{1,top-down}$ é a emissão de metano por fermentação entérica ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *top-down*, em kg CH₄ / animal;

FE_i é o fator de emissão da categorial animal i, em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 25);

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categorial animal i que fazem parte do rebanho no ano analisado (Tabela 23);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12).

4.2.2. Emissões derivadas do manejo de dejetos (metano)

As emissões de metano biogênico oriundas do manejo de dejetos foram estimadas utilizando-se os fatores de emissão propostos por MCTI (2015a, 2015b). Tais fatores são referentes ao ano de 2010 e foram calculados de acordo com a metodologia *Tier 2* do IPCC (IPCC, 2006). A Tabela 26 apresenta os fatores de emissão de metano provenientes do manejo de dejetos.

Os valores apresentados em MCTI (2015a) representam a média dos sistemas de manejo de dejetos de gado de corte praticados no Brasil (predominantemente composto por pastagem, com pequenas contribuições de manejo em lagoas anaeróbicas, biodigestores, entre outros sistemas de manejo), não sendo possível utilizar dados desagregados por tipo de manejo.

Tabela 26: Fatores de emissão de metano para manejo de dejetos de bovinos de corte

Estado	Fator de emissão (kg CH _{4,biogênico} / animal / ano)		
	Machos	Jovens	Fêmeas
Goiás	1,4	0,8	1,2
Mato Grosso	1,3	0,8	1,2
Mato Grosso do Sul	1,3	0,8	1,2
Minas Gerais	1,5	0,9	1,4
São Paulo	1,5	0,9	1,4

Fonte: MCTI (2015a)



Modelagem Bottom-up

Na abordagem *bottom-up*, as emissões de metano derivadas do manejo de dejetos, por animal, são contabilizadas de forma análoga às emissões de metano derivadas da fermentação entérica. Para a estimativa, foram utilizadas as seguintes equações:

Equação 9

$$E_{2,bottom-up} = (E_{2,jovem} + E_{2,adulto} + E_{2,progenitora})$$

Sendo:

$E_{2,bottom-up}$ é a emissão de metano por manejo de dejetos ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *bottom-up*, em kg CH₄ / animal;

$E_{2,jovem}$ é a emissão de metano por manejo de dejetos do animal enquanto ele é jovem (do nascimento até 12 meses de idade), em kg CH₄ / animal / ano;

$E_{2,adulto}$ é a emissão de metano por manejo de dejetos do animal enquanto ele é adulto (de 12 meses até o abate), em kg CH₄ / animal / ano;

$E_{2,progenitora}$ representa a parte da emissão de metano por manejo de dejetos da progenitora que é alocada para o filhote, em kg CH₄ / animal / ano.

Equação 10

$$E_{2,jovem} = FE_{jovem} \times Tempo_{jovem}$$

Sendo:

FE_{jovem} é o fator de emissão da categorial animal jovem, em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 26);

$Tempo_{jovem}$ é o período no qual o animal permanece na categoria jovem, em anos. Como nenhum animal é abatido com menos de um ano, essa variável permaneceu constante em 1 ano.

Equação 11

$$E_{2,adulto} = \left[\left(FE_{macho} \times \frac{n_{rebanho,macho}}{n_{rebanho,macho} + n_{rebanho,fêmea}} \right) + \left(FE_{fêmea} \times \frac{n_{rebanho,macho}}{n_{rebanho,macho} + n_{rebanho,fêmea}} \right) \right] \times (Idade_{abate} - Tempo_{jovem})$$

Sendo:

$Idade_{abate}$ é a idade do animal no momento do abate, em anos (Tabela 12);

FE_i é o fator de emissão na categorial animal i, em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 26);

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categorial animal i (Tabela 23).



Equação 12

$$E_{2,progenitora} = FE_{fêmea} \times IP$$

$FE_{fêmea}$ é o fator de emissão na categorial animal fêmea (adulta), em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 26);

IP é o intervalo entre partos, período entre dois partos de uma fêmea reprodutora, em anos. Essa variável também foi considerada constante e adotou-se o valor médio brasileiro de 1,5 anos (18 meses) (CNA, 2018).

Modelagem Top-down

Na abordagem *top-down*, as emissões de metano por animal, derivadas do manejo de dejetos, são contabilizadas de forma análoga às emissões de metano derivadas da fermentação entérica. Para a estimativa, foram utilizadas as seguintes equações:

Equação 13

$$E_{2,top-down} = \frac{(FE_{jovem} \times n_{rebanho,jovem}) + (FE_{macho} \times n_{rebanho,macho}) + (FE_{fêmea} \times n_{rebanho,fêmea})}{n_{abate}}$$

$E_{2,top-down}$ é a emissão de metano por manejo de dejetos ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *top-down*, em kg CH₄ / animal;

FE_i é o fator de emissão da categorial animal i , em kg CH₄ / animal / ano (Tabela 26);

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categorial animal i que fazem parte do rebanho no ano analisado (Tabela 23);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12).

4.2.3. Emissões derivadas do manejo de dejetos (óxido nitroso)

No caso das emissões diretas de N₂O do manejo de dejetos, MCTI (2015b) utiliza a metodologia *Tier 1* do IPCC (IPCC, 2006) e apresenta fatores de emissão específicos para dejetos depositados diretamente em pastagens. Visto que a maioria das fazendas não realiza outro tipo de manejo de dejetos, considerou-se para os cálculos o fator de emissão de 0,015 kg N-N₂O / kg N excretado.

Em relação à quantidade anual de nitrogênio excretada diretamente na pastagem (N_{ex}), MCTI (2015b) define três categorias de idade: de zero a um ano; de um a dois anos e acima de dois anos, conforme a Tabela 27. No entanto, o documento não faz distinção entre o sexo do animal. A nomenclatura A, B e C para as três faixas etárias foi definida pelos autores do presente estudo para facilitar o entendimento das equações.



Tabela 27: Quantidade anual de nitrogênio excretada diretamente na pastagem (Nex)

Idade (anos)	Nex (kg N / animal / ano)	Categoria
< 1	12	A
de 1 a 2	24	B
> 2	40	C

Fonte: MCTI (2015b)

Vale ressaltar que as emissões indiretas de N₂O de manejo de dejetos depositados diretamente em pastagens não são contabilizadas no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa MCTI (2015b) e, por conseguinte, não foram consideradas neste estudo.

Modelagem Bottom-up

Na abordagem *bottom-up*, as emissões de óxido nitroso derivadas do manejo de dejetos, por animal, são contabilizadas considerando a quantidade de nitrogênio excretada diretamente na pastagem de cada categoria e o fator de emissão de óxido nitroso. Para a estimativa, foram utilizadas as seguintes equações:

Equação 14

$$E_{3,bottom-up} = (Nex_A + Nex_B + Nex_C + Nex_{progenitora}) \times FE \times \frac{44}{28}$$

Sendo:

E_{3,bottom-up} é a emissão de óxido nitroso por dejetos depositados na pastagem ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *bottom-up*, em kg N₂O / animal;

Nex_A é a quantidade de N excretada nos dejetos do animal enquanto ele possui menos de 1 ano de vida (do nascimento até 12 meses de idade), em kg N / animal;

Nex_B é a quantidade de N excretada nos dejetos do animal enquanto ele possui entre 1 e 2 anos de vida, em kg N / animal;

Nex_C é a quantidade de N excretada nos dejetos do animal a partir dos 2 anos de vida, em kg N / animal;

Nex_{progenitora} representa a parte da quantidade de N excretada nos dejetos da progenitora que é alocada para o filhote, em kg N / animal;

FE é o fator de emissão de óxido nitroso por manejo de dejetos, em kg N-N₂O / kg N. Considerou-se igual a 0,015 kg N-N₂O / kg N (MCTI, 2015b);

44/28 é o fator de conversão de N-N₂O para N₂O.



Equação 15

$$Nex_A = Nex_{A,anual} \times Tempo_A$$

Sendo:

Nex_{A,anual} é quantidade anual de N excretada diretamente na pastagem por um animal com idade inferior a um ano, em kg N / animal / ano (Tabela 27);

Tempo_A é o período no qual o animal permanece com idade inferior a um ano, em anos. Como nenhum animal é abatido com menos de um ano, essa variável permaneceu constante em 1 ano.

Equação 16

$$Nex_B = Nex_{B,anual} \times Tempo_B$$

Sendo:

Nex_{B,anual} é quantidade anual de N excretada diretamente na pastagem por um animal com idade entre 1 e 2 anos de vida, em kg N / animal / ano (Tabela 27);

Tempo_B é o período no qual o animal permanece com idade entre 1 e 2 anos, em anos. Se o animal for abatido com menos de 24 meses, esse valor será menor do que 1; caso contrário, o valor será igual a 1.

Equação 17

$$Nex_C = Nex_{C,anual} \times Tempo_C$$

Sendo:

Nex_{C,anual} é quantidade anual de N excretada diretamente na pastagem por um animal com mais de 2 anos de vida, em kg N / animal / ano (Tabela 27);

Tempo_C é o período no qual o animal permanece com idade acima de 2 anos, em anos. Se o animal for abatido com menos de 24 meses, esse valor será igual a 0; caso contrário, o valor será igual à idade do animal no momento do abate menos 2 anos.

Equação 18

$$Nex_{progenitora} = Nex_{progenitora,anual} \times IP$$

Nex_{progenitora,anual} é a quantidade anual de N excretada nos dejetos de uma fêmea em idade reprodutiva (mais de 2 anos), em kg N / animal (Tabela 27);

IP é o intervalo entre partos, período entre dois partos de uma fêmea reprodutora, em anos. Essa variável também foi considerada constante e adotou-se o valor médio brasileiro de 1,5 anos (18 meses) (CNA, 2018).



Modelagem Top-down

Na abordagem *top-down*, as emissões de óxido nitroso derivadas do manejo de dejetos são contabilizadas considerando a quantidade de nitrogênio excretada diretamente na pastagem de cada categoria, o fator de emissão de óxido nitroso e o número de animais abatidos por ano. De maneira conservadora, nos casos onde a idade de abate dos bovinos de corte foi superior a 2 anos, considerou-se o fator de emissão da categoria C (Equação 20). Nos demais casos, considerou-se o fator de emissão da categoria B (Equação 19). Além disso, foi considerado o fator de emissão C para a categoria animal fêmeas, visto que as fêmeas reprodutoras têm idade superior a 2 anos. As equações utilizadas por esta abordagem são:

Se Idade abate \leq 2 anos:

Equação 19

$$E_{3,top-down} = \frac{(n_{rebanho,jovem} \times Nex_{A,anual} + n_{rebanho,macho} \times Nex_{B,anual} + n_{rebanho,fêmea} \times Nex_{C,anual}) \times FE \times \frac{44}{28}}{n_{abate}}$$

Se Idade abate $>$ 2 anos:

Equação 20

$$E_{3,top-down} = \frac{(n_{rebanho,jovem} \times Nex_{A,anual} + n_{rebanho,macho} \times Nex_{C,anual} + n_{rebanho,fêmea} \times Nex_{C,anual}) \times FE \times \frac{44}{28}}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{3,top-down}$ é a emissão de óxido nitroso por dejetos depositados na pastagem ao longo do ciclo de vida de um animal, utilizando-se a modelagem *top-down*, em kg N₂O / animal;

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categorial animal i que fazem parte do rebanho no ano analisado (Tabela 23);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12);

$Nex_{A,anual,i}$ é a quantidade de N excretada nos dejetos do animal na idade i, em kg N / animal / ano (Tabela 27);

FE é o fator de emissão de óxido nitroso por manejo de dejetos, em kg N-N₂O / kg N. Considerou-se igual a 0,015 kg N-N₂O/ kg N (MCTI, 2015b);

$44/28$ é o fator de conversão de N-N₂O para N₂O.

4.2.4. Emissões derivadas da mudança de uso da terra

As emissões de CO₂ derivadas da dMUT nas fazendas podem apresentar uma participação relevante no ciclo de vida da carne bovina, especialmente quando estão associadas à



supressão de vegetação nativa. Essas emissões foram estimadas a partir do método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017). O método BRLUC traz estimativas de emissão decorrentes da dMUT por tipo de cultivo entre o período de 20 anos, de 1996 a 2015. Os resultados podem ser apresentados de forma discreta (por estado brasileiro), ou agregada (valor médio nacional). O BRLUC v1.2 analisa três níveis de taxas de emissão: “mínimo”, “máximo” e “proporcional”.

A Tabela 28 apresenta os fatores de emissão utilizados para este estudo, extraídos do BRLUC v1.2. Foram consideradas as informações do nível “proporcional”, desagregada por estado brasileiro e para o cultivo de pastagens (“*Cultivated pastureland*”) para os estados onde se localizam as fazendas analisadas.

Tabela 28: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra para pastagens

Estado	Fator de emissão (tCO ₂ /ha.ano)
Mato Grosso do Sul	0
Mato Grosso	2,820
Goiás	0
São Paulo	0
Minas Gerais	0,005

Fonte: NOVAES et al. (2017)

Como pode ser observado na Tabela 28, foram atribuídas emissões apenas aos estados onde houve expansão da área de pastagem durante o período de 20 anos (de 1996 a 2015); dentre os estados analisados, apenas Mato Grosso e Minas Gerais. Para os demais estados, houve retração de área de pastagem e por isso nenhuma emissão de dMUT foi atribuída.

As emissões relacionadas à mudança indireta de uso da terra (iLUC⁵) não foram contabilizadas neste estudo devido à alta incerteza associada às atuais metodologias de cálculo, estando de acordo com as normas que tratam do tema (BSI, 2011; ISO, 2013; WRI, 2011). Além disso, como mencionado no Capítulo 2, a dMUT ocasionada pela mudança de manejo das pastagens não foi considerada devido à falta de dados.

Modelagem Bottom-up

Na abordagem *bottom-up*, as emissões de dMUT por animal são contabilizadas do ponto de vista de um único animal da fazenda, considerando a taxa de ocupação da pastagem, a idade

⁵ O termo em português, iMUT, não costuma ser utilizado.



do animal no momento do abate e o intervalo entre partos da fêmea reprodutora. As equações utilizadas por essa abordagem são:

Equação 21

$$E_{4,bottom-up} = (Idade_{abate} + IP) \times \frac{A_{pasto}}{n_{rebanho}} \times FE_i \times 1000$$

Sendo:

$E_{4,bottom-up}$ é a emissão de dióxido de carbono relacionada à dMUT causada pela pastagem, ao longo do ciclo de vida de um animal, no estado *i*, pela modelagem *bottom-up*, em kg CO₂ / animal;

A_{pasto} é a área de pastagem da fazenda analisada, em hectares (Tabela 9);

$n_{rebanho}$ é a quantidade total de animais no rebanho (sem ajustes) (Tabela 10);

$Idade_{abate}$ é a idade do animal no momento do abate, em anos (Tabela 12);

IP é o intervalo entre partos, período entre dois partos de uma fêmea reprodutora, em anos. Essa variável também foi considerada constante e adotou-se o valor médio brasileiro de 1,5 anos (CNA, 2018);

FE_i é o fator de emissão de dióxido de carbono relacionado à dMUT causada pela pastagem, no estado *i*, em tCO₂ / ha.ano (Tabela 28);

1000 é o fator de conversão de toneladas para quilogramas.

Modelagem Top-down

Nessa abordagem, as emissões de dMUT referentes a um ano são contabilizadas do ponto de vista da fazenda como um todo. Para avaliar as emissões relacionadas a um animal, as emissões totais são divididas pela quantidade de animais abatidos no ano analisado, conforme a equação a seguir:

Equação 22

$$E_{4,top-down} = \frac{A_{pasto} \times FE_{dMUT,pastagem} \times 1000}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{4,top-down}$ é a emissão de dióxido de carbono relacionada à dMUT causada pela pastagem, ao longo do ciclo de vida de um animal, no estado onde está localizada a fazenda, pela abordagem *top-down*, em kg CO₂ / animal;

A_{pasto} é a área de pastagem da fazenda analisada, em hectares (Tabela 9);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12)



$FE_{dMUT, pastagem}$ é o fator de emissão de dióxido de carbono relacionado à dMUT causada pela pastagem, no estado onde está localizada a fazenda, em $tCO_2 / ha.ano$ (Tabela 28);
1000 é o fator de conversão de toneladas para quilogramas.

4.2.5. Emissões derivadas da aplicação de fertilizantes e corretivos agrícolas

As emissões relacionadas à aplicação de fertilizantes e corretivos foram calculadas apenas segundo a abordagem *top-down*. Como dito anteriormente, os autores do presente estudo não conseguiram elaborar um método para calcular tais emissões sob a ótica *bottom-up*. A quantidade total de fertilizantes e corretivos aplicados ao longo do ano em cada fazenda foram considerados para este cálculo.

As emissões diretas e indiretas de óxido nitroso ocorridas durante a aplicação de fertilizantes nitrogenados no campo foram estimadas utilizando os fatores de emissão propostos por MCTI (2015b), conforme Equação 23.

As emissões de $CO_{2, f\acute{o}ssil}$ provenientes da aplicação de ureia, calcário calcítico e calcário dolomítico nas áreas de pastagem foram contabilizadas considerando os fatores de emissão proposto pelo *Tier 1* do IPCC (2006), conforme Equação 25 e

Equação 26, respectivamente. Nesses casos, os fatores do IPCC foram utilizados porque MCTI (2015b) não considera as emissões de CO_2 relacionadas à aplicação de ureia e não subdivide as emissões do calcário em calcítico e dolomítico.

A Tabela 29 apresenta a concentração de nutrientes em cada fertilizante considerado nos cálculos. A concentração dos formulados NPK é dada pela própria formulação. Por exemplo, o NPK 10-30-10 possui concentração de 10% de N, 30% de P_2O_5 e 10% de K_2O .

Tabela 29: Concentração de nutrientes nos fertilizantes minerais

Fertilizante	Concentração (%)		
	N	P_2O_5	K_2O
Cloreto de potássio	-	-	60%
Nitrato de amônio	35%	-	-
Sulfato de amônio	21%	-	-
Superfosfato simples	-	21%	-
Superfosfato triplo	-	48%	-
Ureia	46%	-	-

Fonte: WERNET et al. (2016)



Equação 23

$$E_{5,a} = \frac{N_{fert} \times (0,01 + 0,3 \times 0,025) \times \frac{44}{28}}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{5,a}$ é a emissão de óxido nitroso derivada da aplicação de fertilizantes pela abordagem *top-down*, em kg N₂O / animal / ano;

N_{fert} é a quantidade de N contida nos fertilizantes nitrogenados aplicados no campo, em kg N / ano;

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12);

$44/28$ é o fator de conversão de N-N₂O para N₂O.

Equação 24

$$N_{fert} = Q_{fertilizante\ nitrogenado,i} \times 1000 \times \frac{C_{N,i}}{100}$$

Sendo:

$Q_{fertilizante\ nitrogenado,i}$ é a quantidade do fertilizante nitrogenado i aplicado no campo, em toneladas / ano (Tabela 13);

$C_{N,i}$ é a concentração de N no fertilizante nitrogenado i aplicado no campo, em porcentagem (Tabela 29);

1000 é o fator de conversão de toneladas para quilogramas.

Equação 25

$$E_{5,b} = \frac{N_{ureia} \times FE_{ureia} \times \frac{44}{12}}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{5,b}$ é a emissão de dióxido de carbono derivada da aplicação de ureia pela abordagem *top-down*, em kg CO₂ / animal / ano;

N_{ureia} é a quantidade de ureia aplicada no campo, em kg ureia / ano;

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12);

FE_{ureia} é o fator de emissão. Considerou-se igual a 0,2 kg C-CO₂ / kg ureia (IPCC, 2006);

$44/12$ é o fator de conversão de C-CO₂ para CO₂.



Equação 26

$$E_{5,c} = \frac{(C_{calcítico} \times FE_{calcítico} + C_{dolomítico} \times FE_{dolomítico}) \times \frac{44}{12}}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{5,c}$ é a emissão de dióxido de carbono derivada da aplicação de calcário pela abordagem *top-down*, em kg CO₂ / animal / ano;

$C_{calcítico}$ é a quantidade de calcário calcítico aplicada no campo, em kg / ano;

$FE_{calcítico}$ é o fator de emissão da aplicação de calcário calcítico, em kg C-CO₂ / kg calcário.

Considerou-se igual a 0,12 (IPCC, 2006);

$C_{dolomítico}$ é a quantidade de calcário dolomítico aplicada no campo, em kg / ano;

$FE_{dolomítico}$ é o fator de emissão da aplicação de calcário dolomítico, em kg C-CO₂ / kg calcário.

Considerou-se igual a 0,13 (IPCC, 2006);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12);

$44/12$ é o fator de conversão de C-CO₂ para CO₂.

4.2.6. Emissões derivadas dos processos de *background*

As emissões de GEE dos processos de *background* estão relacionados principalmente a:

- Produção de insumos utilizados na fazenda;
- dMUT relacionada aos componentes agrícolas utilizados na ração animal;
- Animais comprados pelas fazendas.

Emissões relacionadas à produção de insumos utilizados na fazenda

Os inventários utilizados para a produção dos fertilizantes e corretivos utilizados para o manejo da pastagem e dos componentes para a ração animal são provenientes do banco de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016), com adaptações exclusivamente nas emissões de dMUT, contabilizadas a partir do método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017).

Com relação à cobertura geográfica dos dados, priorizou-se a adoção de inventários de produção e processamento para o Brasil (BR) ou Argentina (AR) e, na indisponibilidade desses, para o “resto do mundo” (RoW).

As emissões de GEE dos processos de *background* foram obtidas com o auxílio do *software* SimaPro 9.0 (PRé Consultants), por gás de efeito estufa; os nomes dos *datasets* utilizados podem ser observados na Tabela 30.



Vale ressaltar que o presente estudo não considerou os seguintes itens relacionados à pecuária: infraestrutura (galpões, cercas, cochos, etc), animais de trabalho, pesticidas, produtos farmacêuticos (antibióticos, vacinas, vermífugos, etc), micronutrientes (vitaminas, minerais, etc), energia elétrica e combustíveis utilizados nas fazendas.

Tabela 30: Insumos utilizados nas fazendas e respectivos datasets

Insumo	dataset
Calcário dolomítico	Lime {RoW} production, milled, loose Cut-off, U
Calcário calcítico	Lime {RoW} production, milled, loose Cut-off, U
Gesso	Gypsum, mineral {RoW} gypsum quarry operation Cut-off, U
Ureia	Urea, as N {RoW} production Cut-off, U
Cloreto de potássio	Potassium chloride, as K ₂ O {RoW} potassium chloride production Cut-off, U
SSP	Phosphate fertiliser, as P ₂ O ₅ {RoW} single superphosphate production Cut-off, U
TSP	Phosphate fertiliser, as P ₂ O ₅ {RoW} triple superphosphate production Cut-off, U
Nitrato de amônio	Ammonium nitrate, as N {RoW} ammonium nitrate production Cut-off, U
Sulfato de amônio	Ammonium sulfate, as N {RoW} ammonium sulfate production Cut-off, U
Algodão, caroço	Cotton seed {RoW} cotton production Cut-off, U
Algodão, farelo	Cottonseed meal {GLO} cottonseed oil mill operation Cut-off, U
Algodão, torta*	Cottonseed meal {GLO} cottonseed oil mill operation Cut-off, U
Amendoim, farelo*	Soybean meal {BR} soybean meal and crude oil production Cut-off, U
Cana, bagaço	Bagasse, from sugarcane {BR} cane sugar production with ethanol by-product Cut-off, U
Cana, silagem*	Maize silage {RoW} production Cut-off, U
Calcário pecuário*	Lime {RoW} production, milled, loose Cut-off, U
Milho, DDG	Distiller's Dried Grains with Solubles {US} ethanol production from maize Cut-off, U
Milho, grão	Maize grain {AR} maize grain production Cut-off, U
Milho, silagem	Maize silage {RoW} production Cut-off, U
Mombaça, silagem	Grass silage, Swiss integrated production {CH} grass silage production, Swiss integrated production, intensive Cut-off, U
PGP*	Fatty acid {RoW} fatty acid production, from palm oil Cut-off, U
PCP*	Orange, processing grade {BR} orange production, processing grade Cut-off, U
Sal, mineral	Sodium chlorate, powder {RoW} production Cut-off, U
Soja, casca**	-
Soja, grão	Soybean {BR} soybean production Cut-off, U
Soja, farelo	Soybean meal {BR} soybean meal and crude oil production Cut-off, U
Sorgo, grão	Sweet sorghum grain {RoW} sweet sorghum production Cut-off, U
Ureia pecuária*	Urea, as N {RoW} production Cut-off, U

SSP: superfosfato simples; TSP: superfosfato triplo; PCP: polpa cítrica peletizada; DDG: grão seco de destilaria; PGP: gordura protegida de palma

* Simplificações realizadas para considerar os insumos que não foram encontrados na base de dados utilizada.

** Foi considerado como resíduo, ou seja, sem carga ambiental.

Fonte: elaboração própria



Conforme pode ser observado na Tabela 30, foram necessárias algumas simplificações para considerar os componentes da ração animal que não estavam inventariados na base de dados utilizada. Além disso, assumiu-se como fonte de N, P₂O₅ e K₂O das formulações “NPK”: ureia, SSP e KCl, respectivamente.

O cálculo das emissões de cada um dos GEE derivadas de cada um dos processos de *background* foi efetuado de acordo com a Equação 27.

Equação 27

$$E_{6,a,i} = \frac{(Q_{insumo,i} \times FE_{insumo,i})}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{6,a,i}$ é a emissão do GEE da produção do insumo i, em kg de GEE / animal;

$Q_{insumo,i}$ é a quantidade do insumo i utilizada na fazenda, em kg / ano (Tabela 13 e Tabela 14);

$FE_{insumo,i}$ é o fator de emissão do GEE, por gás, por quilograma de insumo i, em kg de GEE / kg insumo (a partir dos *datasets* da Tabela 30);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12).

Emissões de dMUT relacionadas à produção de ração animal

A modelagem de dMUT dos componentes agrícolas da ração animal foi tratada de forma similar às demais emissões de dMUT do estudo, conforme detalhado na seção 4.2.4 e na Equação 28. Conforme dito anteriormente, os inventários utilizados para o cultivo dos componentes da ração animal provenientes do banco de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016), foram adaptados para considerar os fatores de emissão de dMUT de Novaes et al. (2017). Quanto à localização da produção agrícola, assumiu-se a premissa de que o insumo foi fabricado no mesmo estado onde está localizada a fazenda que utiliza a ração animal.

Equação 28

$$E_{6,b} = \frac{A_{insumo,i} \times FE_{dMUT,i} \times 1000}{n_{abate}}$$

Sendo:

$E_{6,b}$ é a emissão de dióxido de carbono derivada da dMUT da produção do insumo i, em kg CO₂ / animal;

$A_{insumo,i}$ é a área agrícola requerida para a produção do insumo i, em hectares;



$FE_{dMUT,i}$ é o fator de emissão de dióxido de carbono relacionado à dMUT causada pela produção agrícola i, em $tCO_2 / ha.ano$ (Tabela 31);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12);

1000 é o fator de conversão de toneladas para quilogramas.

A área agrícola foi calculada segundo a Equação 29. No caso de insumos manufaturados, como farelo de soja e silagem de milho, considerou-se ainda os rendimentos dos processos industriais.

Equação 29

$$A_{insumo,i} = \frac{Q_{insumo,i}}{R_{insumo,i} \times P_{insumo,i}}$$

Sendo:

$Q_{insumo,i}$ é a quantidade do insumo i utilizada na fazenda, em kg / ano (Tabela 14);

$R_{insumo,i}$ é o rendimento da transformação do insumo in natura no insumo manufaturado, em kg insumo manufaturado / kg insumo in natura. Os valores foram obtidos da base de dados ecoinvent v3.5, considerando alocação econômica (WERNET et al., 2016). No caso do consumo do produto agrícola in natura $R_{insumo} = 1$;

$P_{insumo,i}$ é a produtividade agrícola média do insumo in natura, em kg / ha (Tabela 32).

As Tabela 31 e Tabela 32 apresentam os fatores de emissão (FE_{dMUT}) e a produtividade média (P_{insumo}) considerada para os cálculos das equações supracitadas.

Tabela 31: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra (dMUT) para componentes da ração animal

Cultura	Fator de emissão – FE_{dMUT} ($tCO_2/ha.ano$)				
	Mato Grosso do Sul	Mato Grosso	Goiás	São Paulo	Minas Gerais
Soja	2,13	12,59	4,92	1,16	4,18
Milho	0	0	0	0	0
Algodão	0	0	0	0	0
Cana-de-açúcar	7,33	0,02	2,86	0,21	2,28
Sorgo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Amendoim	2,96	0	0	1,81	3,43
Laranja	-0,23	0	-0,1	0	0
Palma	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Fonte: NOVAES et al. (2017). n/a: não aplicável.



Tabela 32: Produtividade média dos insumos agrícolas, em 2015

Cultura	Produtividade – P_{insumo} (kg/ha.ano)				
	Mato Grosso do Sul	Mato Grosso	Goiás	São Paulo	Minas Gerais
Soja	3.108	3.106	2.640	3.039	2.654
Milho	-	-	-	-	-
Algodão	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar	80.498	69.450	77.487	76.602	75.767
Sorgo	-	-	-	-	-
Amendoim	1.980	3.115	2.000	3.596	3.442
Laranja	19.978	10.174	20.515	29.758	22.428
Palma	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Fonte: IBGE (2019b). n/a: não aplicável.

Emissões relacionadas à criação de animais comprados

De acordo com a abordagem *top-down*, a contabilização das emissões dos animais comprados de outras fazendas deve ser levada em conta no cálculo da PC. Em geral, esta contabilização pode ser feita de duas maneiras:

- (i) Coleta de dados primários nas fazendas – adiciona maior complexidade no estudo, requerendo maior tempo e maior volume de dados. Em contrapartida, diminui a incerteza desta fonte de emissão. A depender do número de fazendas dos animais comprados esta opção torna-se inviável.
- (ii) Uso de dados secundários de base de dados – facilita e agiliza o tratamento dos dados. Em contrapartida, incorpora uma grande incerteza ao estudo.

Com a indisponibilidade da coleta de dados primários, optou-se pela a utilização de dados secundários⁶ da base de dados ecoinvent v3.6 (FOLEGATTI-MATSUURA; PICOLI, 2018; WERNET et al., 2016) para o cálculo das emissões dessa fonte no presente estudo. Assim, o cálculo das emissões de cada um dos GEE derivadas da produção dos animais comprados foi efetuado de acordo com a Equação 30.

Equação 30

$$E_{6,c} = \frac{(FE_{jovem} \times P_{jovem} \times n_{rebanho,jovem}) + (FE_{macho} \times P_{macho} \times n_{rebanho,macho}) + (FE_{fêmea} \times P_{fêmea} \times n_{rebanho,fêmea})}{n_{abate}}$$

⁶ Datasets “cattle for slaughtering, live weight {BR}| market for | Cut-off, U”; “weaned calves, live weight {BR}| market for | Cut-off, U” e “weaned heifers, live weight {BR}| market for | Cut-off, U”.



$E_{6,c}$ é a emissão da produção de todos os animais comprados pela fazenda no ano analisado, dividida pela quantidade de animais vendidos para abate, em kg de GEE / animal;

FE_i é o fator de emissão do GEE, por gás, por quilograma de peso vivo do animal da categoria i , em kg de GEE/ kg peso vivo;

P_i é o peso vivo do animal da categoria i , em kg peso vivo / animal (Tabela 22);

$n_{rebanho,i}$ é o número de animais na categoria animal i que fazem parte do rebanho no ano analisado (Tabela 23);

n_{abate} é o número de animais abatidos no ano analisado (Tabela 12).

4.3. Frigorífico

Nessa etapa do ciclo de vida, as principais fontes de emissão são provenientes do consumo de energia elétrica, da queima de combustíveis e da ETE.

As emissões de GEE da ETE, por animal (E_7), foram coletadas diretamente das unidades frigoríficas, conforme apresentado na Tabela 17 da seção 3.2.5.

Os principais processos de *background* são apresentados na Tabela 33 e estão relacionados à produção de energia elétrica e aos combustíveis utilizados nas atividades industriais. As emissões de GEE desses processos de background foram obtidas com o auxílio do software SimaPro 9.0 (PRé Consultants), por gás de efeito estufa.

Já para o cálculo das emissões da queima de combustíveis nas unidades frigoríficas foi utilizada a Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol / Versão 2019.3 (FGVCES, 2019). Com relação à cobertura geográfica dos dados, priorizou-se a adoção de inventários de produção e processamento para o Brasil (BR) e, na indisponibilidade desses, para o “resto do mundo” (RoW).



Tabela 33: Insumos utilizados nas unidades frigoríficas e respectivos *datasets**

Recurso energético	Fonte
Energia elétrica	ecoinvent v3.5 / Electricity, medium voltage {BR} market for Cut-off, U
Bagaço de cana	ecoinvent v3.5 / Bagasse, from sugarcane {BR} cane sugar production with ethanol by-product Cut-off, U
BPF	ecoinvent v3.5 / Heavy fuel oil {RoW} market for Cut-off, U
Cavaco de madeira	ecoinvent v3.5 / Wood chips, wet, measured as dry mass {RoW} market for Cut-off, U
GLP	ecoinvent v3.5 / Liquefied petroleum gas {RoW} market for Cut-off, U
Lenha	ecoinvent v3.5 / Wood chips, wet, measured as dry mass {RoW} market for Cut-off, U
Óleo diesel B10	ecoinvent v3.5 / 10,4% Vegetable oil methyl ester {GLO} market for Cut-off, U + 89,6% Diesel {RoW} market for Cut-off, U

* Incluem emissões da etapa de transporte T5 (transporte de combustíveis para o frigorífico)

Fonte: elaboração própria

Por fim, as emissões de GEE derivadas da produção dos insumos foram calculadas conforme a Equação 31:

Equação 31

$$E_8 = Q_{insumo,i} \times FE_{insumo,i}$$

Sendo:

E_8 é a emissão relacionada à produção do insumo i, em kg de GEE / animal;

$Q_{insumo,i}$ é a quantidade do insumo i utilizada no frigorífico, por animal abatido, em kg / animal (Tabela 16);

$FE_{insumo,i}$ é o fator de emissão do GEE, por gás, por quilograma de insumo i, em kg de GEE / kg insumo (a partir dos *datasets* da Tabela 33).

4.4. Transporte e exportação

As emissões das atividades de transporte (T1, T2, T4, T6 e T7) foram calculadas considerando-se os fatores de emissão de GEE obtidos da base de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016). Por uma decisão metodológica, o transporte do animal comprado entre fazendas (T3) foi considerado apenas na abordagem *top-down*. As distâncias e modais de transportes informados na seção 3.3, conforme a Equação 32:



Equação 32

$$E_{Transportes} = Q_{insumo} \times D_{transporte} \times FE_{transporte}$$

Sendo:

$E_{transporte}$ é a emissão relacionada ao transporte, em kg GEE / animal;

Q_{insumo} é a quantidade de insumo transportada, por animal, em kg / animal;

$D_{transporte}$ é a distância percorrida pelo meio de transporte definido, em km;

$FE_{transporte}$ é o fator de emissão, por gás, do meio de transporte definido, em kg de GEE / kg.km

(Tabela 34).

Tabela 34: Datasets relacionados ao transporte de insumos

Tipo de transporte	Fonte
Transporte rodoviário de insumos agrícolas e ração animal (T1 e T2)	ecoinvent v3.5 / Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro4 {RoW} market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 Cut-off, U
Transporte rodoviário de animal vivo (T4)	ecoinvent v3.5 / Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro4 {RoW} market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Cut-off, U
Transporte rodoviário de carne desossada (T6)	ecoinvent v3.5 / Transport, freight, lorry with refrigeration machine, freezing {GLO} market for Cut-off, U
Transporte marítimo de carne desossada (T7)	ecoinvent v3.5 / Transport, freight, sea, transoceanic ship with reefer, freezing {GLO} market for Cut-off, U

Fonte: adaptado de WERNET et al. (2016)



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da AICV, ou neste caso PC, da carne bovina produzida no Brasil com a finalidade de exportação para a UE. Antes de apresentar os resultados da AICV é importante lembrar algumas limitações do estudo.

O presente estudo aplicou os fatores de emissão de fermentação entérica propostos por MCTI (2015a) e não considerou informações específicas do tipo de alimentação de cada rebanho. Além disso, as emissões decorrentes da dMUT foram estimadas segundo o método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017), que considera informações em nível estadual.

Em relação à coleta de dados, todos os dados primários coletados nas fazendas e nos frigoríficos atenderam aos requisitos de qualidade dos dados definidos anteriormente (cobertura temporal, geográfica e tecnológica). Já os dados secundários – fabricação de insumos e transportes – foram retirados da base de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016). Apesar de ser a base de dados mais utilizada no mundo pelos praticantes de ACV e possuir dados bastante confiáveis, os dados secundários atenderam apenas parcialmente aos requisitos de qualidade dos dados. Porém, esse fato não prejudica a confiabilidade dos resultados obtidos pelo estudo, visto que as emissões relacionadas a esses processos são pouco relevantes.

Os resultados da pegada de carbono são apresentados para todas as etapas (do berço ao porto) do ciclo de vida dos produtos estudados, com foco na produção do animal na fazenda (seção 5.1), passando pelo seu processamento no frigorífico (seção 5.2) e finalmente chegando ao porto europeu (seção 5.3). Ao final, a seção 5.4 apresenta as emissões de GEE consolidadas para a carne bovina, contemplando a pegada de carbono do berço ao porto.

Um primeiro resultado da ACV é a compilação e quantificação das entradas e saídas relevantes do sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, ou seja, o Inventário do Ciclo de Vida (ABNT, 2014a, 2014b). Como este estudo foca apenas em uma categoria de impacto ambiental – mudanças climáticas, foram consideradas relevantes apenas as emissões de GEE para o ar. O ICV é apresentado na Tabela 35.

Vale lembrar que os gases considerados para a correlação do ICV à categoria de impacto “Mudanças Climáticas” foram: CO₂, fóssil, CO₂, dMUT, CH₄, fóssil, CH₄, biogênico e N₂O e o fator de caracterização utilizado foi o GWP 100 anos (IPCC, 2013).



Tabela 35: Inventário do ciclo de vida da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia, em kg GEE / kg carne desossada

Fazenda	CO ₂ , fóssil	CO ₂ , dMUT	CH ₄ , fóssil	CH ₄ , biogênico	N ₂ O
FZ 01	2,27	16,9	0,004	0,85	0,01
FZ 02	3,60	28,3	0,006	0,88	0,02
FZ 03	2,20	11,3	0,003	1,07	0,02
FZ 04	8,74	0,00	0,005	0,89	0,04
FZ 05	1,74	0,56	0,003	0,89	0,01
FZ 06	1,77	0,00	0,003	0,83	0,01
FZ 07	1,76	0,02	0,002	0,80	0,01
FZ 08	1,30	0,00	0,002	0,85	0,01
FZ 09	1,77	0,00	0,004	0,85	0,01
FZ 10	3,09	34,3	0,004	1,06	0,02
FZ 11	1,97	16,4	0,003	1,11	0,02
FZ 12	2,85	42,4	0,003	0,96	0,01
FZ 13	1,36	0,02	0,002	0,92	0,01
FZ 14	1,40	0,05	0,002	1,02	0,01
FZ 15	3,39	0,01	0,003	0,93	0,02
FZ 16	2,60	0,00	0,004	0,85	0,01
FZ 17	2,65	19,7	0,004	1,01	0,02
FZ 18	3,79	0,02	0,005	0,84	0,02
FZ 19	2,86	20,1	0,004	1,20	0,02
FZ 20	3,55	0,05	0,005	0,77	0,02
FZ 21	3,84	0,00	0,004	0,98	0,01
FZ 22	1,57	59,1	0,003	1,23	0,01
FZ 23	1,73	0,00	0,002	1,19	0,02

Fonte: elaboração própria

Estes resultados foram obtidos considerando todas as premissas e decisões metodológicas descritas nos capítulos anteriores e, assim, não devem ser dissociados delas. Por esse motivo, representam somente a amostra e o escopo analisado e não podem ser utilizados para generalizações de qualquer natureza.

Cabe ressaltar ainda que os resultados apresentados e discutidos aqui não devem ser diretamente comparados com resultados de outros estudos, salvo que as premissas como objetivo e escopo, fronteiras do sistema, UD e outras, sejam conhecidas e equivalentes.

Neste capítulo são apresentados, ainda, os resultados da escolha metodológica adotada para este estudo a partir da análise das emissões de GEE na etapa da fazenda. Esta discussão é de extrema relevância para a compreensão dos demais resultados apresentados a seguir.



5.1. Fazenda

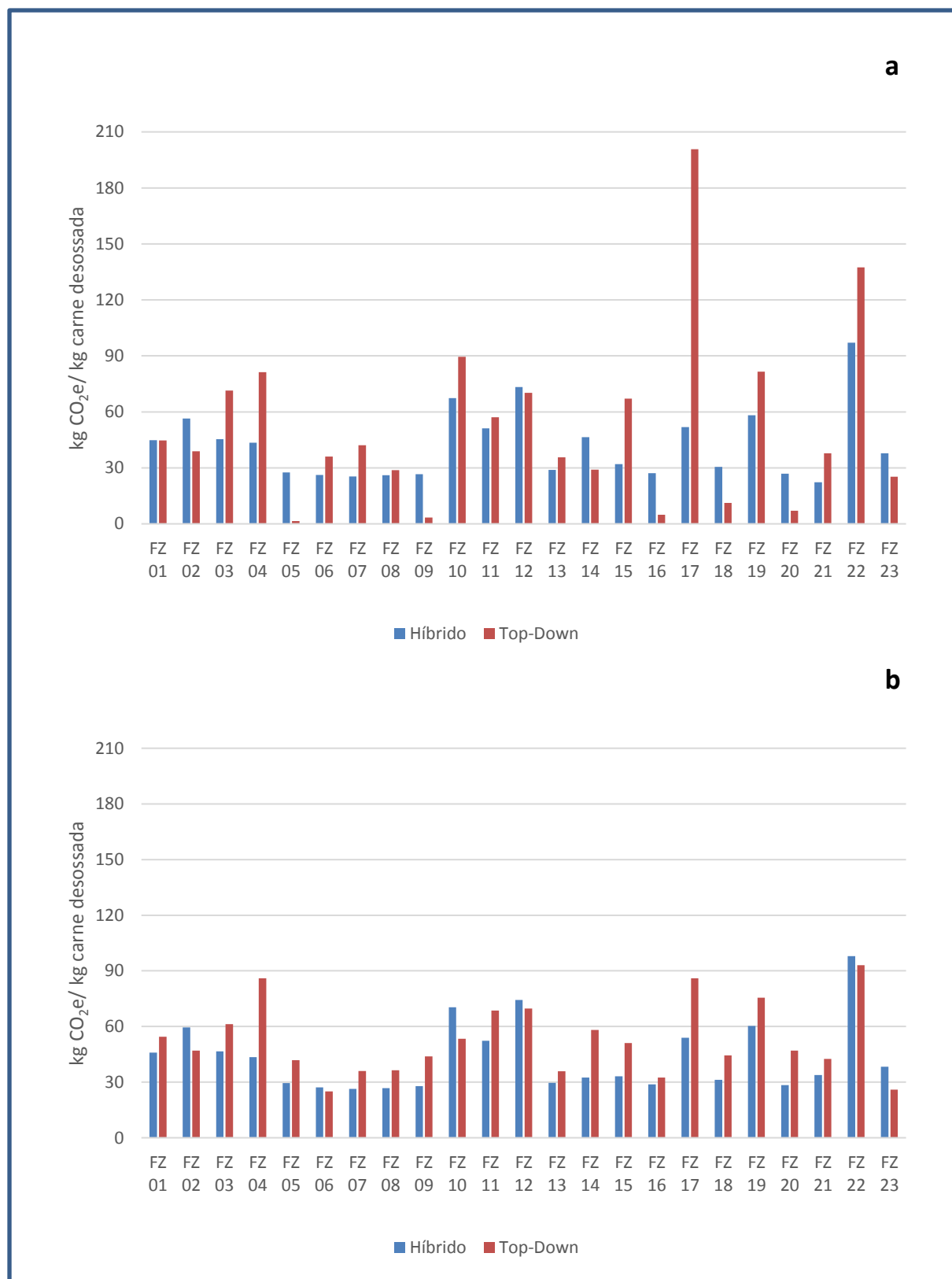
Como mencionado no Capítulo 4, a contabilização das emissões de GEE da fazenda contempla múltiplas variáveis e fontes de emissão, o que torna seu cálculo bastante complexo. A contabilização das emissões da fazenda pode ser feita considerando duas modelagens distintas: híbrida e *top-down*.

Para que seja possível analisar os resultados dessa escolha metodológica e suas implicações na PC da carne bovina, a seguir são apresentados os resultados do cálculo realizado para ambos métodos, para as 23 fazendas (FZ) contempladas no estudo.

Vale lembrar que a abordagem *top-down* requer um método de ajuste para garantir a estabilização do rebanho. A fim de ilustrar a necessidade desses ajustes, a Figura 13 e a Tabela 36 comparam os resultados da PC da carne bovina, do berço ao portão da fazenda, antes e após os ajustes metodológicos propostos na seção 4.1.1 deste documento.



Figura 13: PC da carne bovina do berço ao portão da fazenda: comparação entre abordagens híbrida e *top-down*, (a) antes e (b) após os ajustes



Fonte: elaboração própria



Tabela 36: Emissões de GEE, em kg CO₂e / kg carne desossada do berço ao portão da fazenda, pelas abordagens híbrida e *top-down*, antes e após os ajustes

Fazenda	Antes dos ajustes			Após os ajustes		
	Híbrida	<i>Top-down</i>	Desvio	Híbrida	<i>Top-down</i>	Desvio
FZ 01	44,9	44,7	0%	45,9	54,4	16%
FZ 02	56,4	38,9	-45%	59,5	46,9	-27%
FZ 03	45,3	71,4	36%	46,6	61,3	24%
FZ 04	43,4	81,3	47%	43,5	85,9	49%
FZ 05	27,6	1,45	-1804%	29,5	41,8	30%
FZ 06	26,2	36,1	27%	27,1	25,1	-8%
FZ 07	25,3	42,2	40%	26,3	36,0	27%
FZ 08	26,1	28,8	9%	26,8	36,4	26%
FZ 09	26,6	3,39	-685%	27,8	43,9	37%
FZ 10	67,4	89,6	25%	70,3	53,3	-32%
FZ 11	51,1	57,1	10%	52,3	68,6	24%
FZ 12	73,4	70,1	-5%	74,3	69,6	-7%
FZ 13	28,9	35,6	19%	29,6	35,9	17%
FZ 14	46,4	29,1	-60%	32,5	58,1	44%
FZ 15	32,0	67,1	52%	33,2	51,0	35%
FZ 16	27,1	4,90	-453%	28,8	32,5	11%
FZ 17	51,9	201	74%	53,9	86,0	37%
FZ 18	30,5	11,2	-171%	31,2	44,4	30%
FZ 19	58,2	81,5	29%	60,4	75,5	20%
FZ 20	26,9	7,03	-282%	28,4	47,1	40%
FZ 21	22,3	37,8	41%	33,8	42,5	20%
FZ 22	97,0	137	29%	98,0	93,1	-5%
FZ 23	37,8	25,3	-50%	38,3	25,9	-48%

Fonte: elaboração própria

A Figura 13a e a Tabela 36 ilustram como a variação do rebanho de um ano para outro nas fazendas altera o resultado da PC e evidencia a necessidade de ajustes para forçar a estabilização do rebanho. Nessa análise, destacam-se casos extremos, que distorcem a realidade, como FZ 05, 09 e 16, com desvio acima de -400%, e FZ17, com desvio acima de +70%, ambos em relação à abordagem *top-down*.

Antes dos ajustes metodológicos, as fazendas 05 (engorda), 09 (recria e engorda) e 16 (ciclo completo) apresentavam alta taxa de abate⁷ e retração do rebanho, gerando emissões de GEE inferiores a 5 kg CO₂e / kg carne desossada na abordagem *top-down* e em torno de 30 kg CO₂e / kg carne desossada na abordagem híbrida, causando um desvio superior a 400%. Após os ajustes metodológicos (que consideraram a compra de animais para a reposição do rebanho de forma a garantir a sua estabilização), as emissões de GEE na abordagem *top-*

⁷ Taxa de abate é o percentual resultante da relação entre o número de animais abatidos e o número total de animais existente no rebanho (ORMOND, 2006).



down se aproximaram às do modelo híbrido e ficaram entre 27 e 43 kg CO₂e / kg carne desossada, com desvio inferior a +40%.

Já a fazenda 17 (recria e engorda) apresentava baixa taxa de abate e aumento do rebanho, gerando emissões de GEE de 201 kg CO₂e / kg carne desossada (*top-down*) e de 52 kg CO₂e / kg carne desossada (híbrido), causando um desvio de +74%. Após os ajustes metodológicos (que consideraram a compra apenas da quantidade de animais necessária para estabilizar o rebanho bovino), as emissões de GEE na abordagem *top-down* resultaram em 86 kg CO₂e / kg carne desossada, com desvio de +37%.

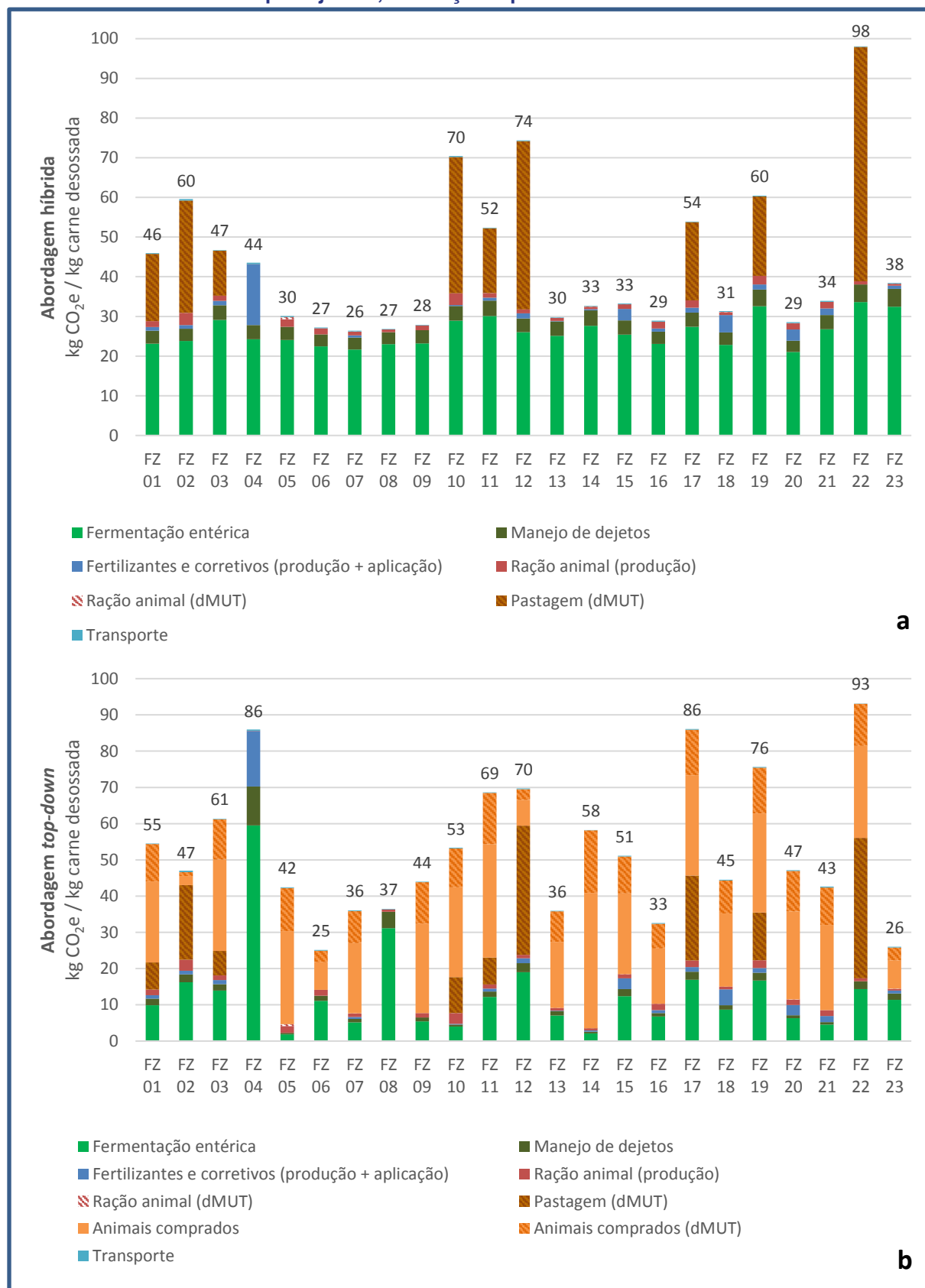
Os casos explorados aqui deixam claro que, ao utilizar a abordagem *top-down*, é preciso ter muito cuidado com fazendas que estão aumentando ou diminuindo o tamanho do rebanho de um ano para o outro. E, além disso, reforçam a necessidade de ajustes metodológicos, como o proposto por este estudo, para contornar a complexidade da dinâmica do rebanho e evitar distorções dos resultados da PC.

Ainda observando a Figura 13b e a Tabela 36, é possível notar divergências entre as abordagens híbrida e *top-down* mesmo após os ajustes metodológicos. A PC na abordagem híbrida pode ser subestimada visto que os machos reprodutores não são considerados e tampouco é considerada uma taxa de mortalidade para os animais do rebanho. Já a PC na abordagem *top-down* pode ser influenciada pelo perfil de produção dos animais comprados de outras fazendas. Esses são apenas alguns fatores que fazem com que os resultados das abordagens *top-down* e híbrida não coincidam; além disso, as diversas incertezas ao longo da coleta de dados e métodos de cálculos contribuem fortemente para que as duas abordagens não convirjam.

Analisando os pontos de atenção acima, percebe-se que a comparação entre as abordagens deve ser evitada, já que partem de pontos de vista e de dados diferentes: enquanto a abordagem *top-down* observa o rebanho como um todo, a abordagem híbrida observa um único animal, desde a sua concepção até o abate. A Figura 14 contribui para uma melhor compreensão das principais fontes de emissão de GEE das duas abordagens híbrida (a) e a *top-down* (b), cujos resultados são apresentados após a realização dos ajustes.



Figura 14: Principais fontes de emissão de GEE pelas abordagens (a) híbrida e (b) *top-down* após ajustes, do berço ao portão da fazenda



Fonte: elaboração própria



Observando a Figura 14a (abordagem híbrida), nota-se que a fermentação entérica, a dMUT das pastagens e o manejo de dejetos são as principais fontes de emissão de GEE.

Vale lembrar que as emissões derivadas da dMUT foram estimadas segundo o método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017), que considerou a mudança de uso da terra em nível estadual para um período de 20 anos. Foram atribuídas emissões apenas aos estados onde houve expansão da área de pastagem durante esse período. Ou seja, para as fazendas localizadas em estados onde houve retração ou estabilização de área de pastagem, não foi atribuída emissão de dMUT.

Ainda na abordagem híbrida, a fermentação entérica variou de 56% a 86%, seguida pelas emissões do manejo de dejetos (8% a 12%) e ração animal (0,1% a 6%). Quando presente, a dMUT é outra importante fonte de emissão, representando de 24% a 60% do total da PC; nesses casos, a participação da fermentação entérica cai um pouco em representatividade (34% a 62%), assim como a de manejo de dejetos (5% a 8%).

Na Figura 14b (abordagem *top-down* ajustada), além das emissões da fazenda (principalmente fermentação entérica, dMUT de pastagens e manejo de dejetos), há um novo componente que influencia a PC da carne bovina: as emissões dos animais comprados de outras fazendas, que representam de 8% a 94% nas fazendas analisadas, dependendo do sistema produtivo.

Como ressalta a Figura 14b, para calcular de forma mais verossímil a PC da carne bovina, as emissões desses animais comprados devem ser levadas em conta. É importante lembrar que o presente estudo optou pela utilização de dados secundários provenientes da base de dados ecoinvent v3.6, o que inclui uma grande fonte de incerteza nos resultados da PC da carne bovina pela abordagem *top-down*.

A abordagem híbrida, proposta por este estudo, ao contabilizar as principais emissões de GEE ao longo da vida do animal com dados primários, dispensa o uso de dados secundários dos animais comprados, uma vez que independe do número de fazendas pelas quais o animal passou. Dessa forma, os autores acreditam que tal abordagem pode reduzir o grau de incerteza dos resultados da PC.

Isso fica mais evidente em sistemas de engorda, como nas fazendas 05 e 14, nas quais as emissões dos animais comprados representam mais de 88% das emissões de GEE. Isso porque tais fazendas compram grande parte do rebanho e realizam apenas a engorda dos animais nos seus três últimos meses de vida. Nesse caso, o animal passa apenas uma pequena fração de sua vida (3/36 meses) nessa fazenda antes do abate e basicamente toda a PC é proveniente da base de dados.



É importante observar que alguns estudos que utilizam a abordagem *top-down* não contabilizam as emissões dos animais comprados de outras fazendas, o que acaba subestimando a PC e favorecendo os sistemas de produção de engorda e recria/engorda – em geral com alta taxa de abate e alta taxa de ocupação; um exemplo é o estudo de Cerri et al. (2016) publicado em periódico bastante conceituado. Quando as emissões dos animais comprados não são contabilizadas, o mais correto seria dizer que se trata de um estudo de emissões “dentro da porteira” e não de pegada de carbono, já que parte relevante das emissões (sistema de cria) não é contabilizada.

As Tabela 37 e Tabela 38 trazem em detalhes o percentual de contribuição de cada fonte de emissão de GEE da PC da carne bovina, do berço ao portão da fazenda, pela abordagem híbrida e *top-down* (após ajustes), respectivamente.

Tabela 37: Emissões de GEE, em kg CO₂e / kg carne desossada, do berço ao portão da fazenda, por fonte de emissão: abordagem híbrida

Fazenda	Abordagem híbrida					
	Fertilizantes e corretivos ¹	Ração animal ²	Fermentação entérica	Manejo de dejetos	Pastagem (dMUT)	Transportes (T1+T2+T4)
FZ 01	2,07%	3,25%	50,3%	7,14%	36,9%	0,38%
FZ 02	1,64%	5,17%	40,0%	5,11%	47,4%	0,66%
FZ 03	2,44%	2,76%	62,3%	7,92%	24,3%	0,29%
FZ 04	35,2%	0,08%	55,7%	8,24%	0,00%	0,82%
FZ 05	0,00%	8,14%	79,9%	11,1%	0,04%	0,77%
FZ 06	0,00%	5,80%	82,7%	10,9%	0,00%	0,61%
FZ 07	2,07%	3,69%	82,1%	11,4%	0,00%	0,72%
FZ 08	0,00%	2,46%	85,6%	11,3%	0,00%	0,59%
FZ 09	0,00%	4,43%	83,2%	11,8%	0,00%	0,54%
FZ 10	0,34%	4,21%	41,1%	5,26%	48,7%	0,36%
FZ 11	1,45%	2,21%	57,5%	7,36%	31,3%	0,24%
FZ 12	1,81%	1,30%	35,0%	4,60%	57,1%	0,24%
FZ 13	0,48%	2,43%	84,4%	12,3%	0,00%	0,37%
FZ 14	1,08%	1,96%	84,8%	11,8%	0,04%	0,36%
FZ 15	8,83%	3,53%	76,4%	10,7%	0,00%	0,58%
FZ 16	2,91%	5,98%	79,8%	10,6%	0,00%	0,72%
FZ 17	2,32%	3,39%	50,8%	6,58%	36,6%	0,32%
FZ 18	13,9%	2,49%	72,8%	10,1%	0,00%	0,65%
FZ 19	2,11%	3,57%	53,9%	6,92%	33,2%	0,33%
FZ 20	9,91%	5,54%	73,6%	10,1%	0,00%	0,80%
FZ 21	4,89%	4,88%	79,0%	10,6%	0,00%	0,71%
FZ 22	0,00%	0,83%	34,3%	4,56%	60,2%	0,08%
FZ 23	1,99%	1,38%	84,5%	11,8%	0,00%	0,39%

¹ Inclui impactos da produção e aplicação;

² Inclui impactos da produção e dMUT

Fonte: elaboração própria



Tabela 38: Emissões de GEE, em kg CO₂e / kg carne desossada, do berço ao portão da fazenda, por fonte de emissão: abordagem *top-down* após ajustes

Fazenda	Abordagem <i>top-down</i> após ajustes							
	Fertilizantes e corretivos ¹	Ração animal ²	Fermentação entérica	Manejo de dejetos	Animais comprados ³	Animais comprados (dMUT)	Pastagem (dMUT)	Transportes (T1+T2+T4)
FZ 01	1,75%	2,74%	18,1%	3,42%	40,9%	18,9%	13,8%	0,32%
FZ 02	2,08%	6,55%	34,5%	4,61%	5,18%	2,39%	43,8%	0,83%
FZ 03	1,86%	2,10%	22,7%	2,89%	41,1%	18,1%	11,0%	0,22%
FZ 04	17,8%	0,04%	69,2%	12,5%	0,00%	0,00%	0,00%	0,42%
FZ 05	0,00%	5,77%	4,39%	0,88%	60,5%	27,9%	0,00%	0,54%
FZ 06	0,00%	6,28%	44,1%	5,85%	30,3%	12,8%	0,00%	0,66%
FZ 07	1,51%	2,70%	14,3%	2,57%	53,7%	24,6%	0,00%	0,53%
FZ 08	0,00%	1,81%	85,4%	12,4%	0,00%	0,00%	0,00%	0,44%
FZ 09	0,00%	2,81%	12,3%	2,42%	56,2%	25,9%	0,00%	0,34%
FZ 10	0,45%	5,55%	7,46%	1,05%	46,5%	20,0%	18,5%	0,47%
FZ 11	1,11%	1,68%	17,7%	2,22%	45,5%	20,7%	10,8%	0,19%
FZ 12	1,93%	1,39%	27,2%	3,61%	10,2%	4,30%	51,1%	0,26%
FZ 13	0,40%	2,01%	19,5%	3,49%	50,8%	23,5%	0,00%	0,31%
FZ 14	0,60%	1,10%	3,69%	0,74%	64,1%	29,6%	0,00%	0,20%
FZ 15	5,75%	2,30%	24,2%	3,91%	43,5%	19,9%	0,00%	0,38%
FZ 16	2,58%	5,31%	20,8%	2,90%	46,8%	20,9%	0,00%	0,64%
FZ 17	1,46%	2,13%	19,6%	2,63%	32,2%	14,6%	27,2%	0,20%
FZ 18	9,79%	1,75%	19,5%	2,69%	45,2%	20,6%	0,00%	0,46%
FZ 19	1,68%	2,85%	22,1%	2,86%	36,1%	16,7%	17,4%	0,26%
FZ 20	6,00%	3,35%	13,3%	1,68%	51,4%	23,7%	0,00%	0,48%
FZ 21	3,89%	3,89%	10,7%	1,54%	55,1%	24,3%	0,00%	0,57%
FZ 22	0,00%	0,87%	15,4%	2,29%	27,3%	12,5%	41,6%	0,09%
FZ 23	2,94%	2,04%	43,8%	6,76%	30,0%	13,9%	0,00%	0,58%

¹ Inclui impactos da produção e aplicação;

² Inclui impactos da produção e dMUT;

³ Inclui impactos do transporte dos animais comprados (T3).

Fonte: elaboração própria

Conforme discutido anteriormente, a abordagem *bottom up* permite a contabilização das fontes fermentação entérica, manejo de dejetos e dMUT das pastagens, que representam a maior parcela de emissões dentro da fazenda (cerca de 90% dessa etapa). Por outro lado, os 10% restantes não podem ser calculados pela mesma abordagem. Ainda assim, se trata de uma parcela pequena frente às emissões totais da fazenda.

Para contornar esse aspecto, a abordagem híbrida é uma solução possível, além de ser mais simples e garantir maior confiabilidade dos resultados, na medida que: (i) necessita de uma menor quantidade de dados, (ii) não requer a estabilização do rebanho e (iii) independe de dados de animais comprados.



Pelos motivos supracitados, os autores do presente estudo decidiram adotar a abordagem híbrida para a consolidação da PC da carne bovina. Dessa forma, a partir desse ponto do relatório, todos os resultados apresentados seguem a abordagem híbrida⁸.

5.2. Frigorífico

Para computar as emissões de GEE do frigorífico, optou-se por utilizar um valor médio das nove unidades frigoríficas, visto que não foi possível garantir a rastreabilidade entre as fazendas de origem (que vendem o animal para abate) e o destino dos animais (unidades frigoríficas que realizam o abate).

A Tabela 39 e a Figura 15 apresentam o perfil das emissões das unidades frigoríficas e o valor médio adotado por este estudo para esta etapa do ciclo de vida (78 kg CO₂e/animal). Esses valores não estão apresentados na UD porque dependem do peso de abate do animal, que varia de fazenda para fazenda. A partir do dado médio da Tabela 39, aplicando os fatores de alocação econômica (85%) e considerando os dados de rendimento de processo (55% para rendimento de carcaça e 73% para rendimento de desossa) e peso de abate, obteve-se as emissões de GEE por kg de carne desossada por fazenda (Figura 16).

Vale lembrar que, além das emissões da produção dos combustíveis, os resultados já incluem o transporte para o frigorífico (T5) e a queima desses nos equipamentos considerando-se uma combustão estacionária.

Tabela 39: Emissões de GEE dos frigoríficos, em kg CO₂e / animal

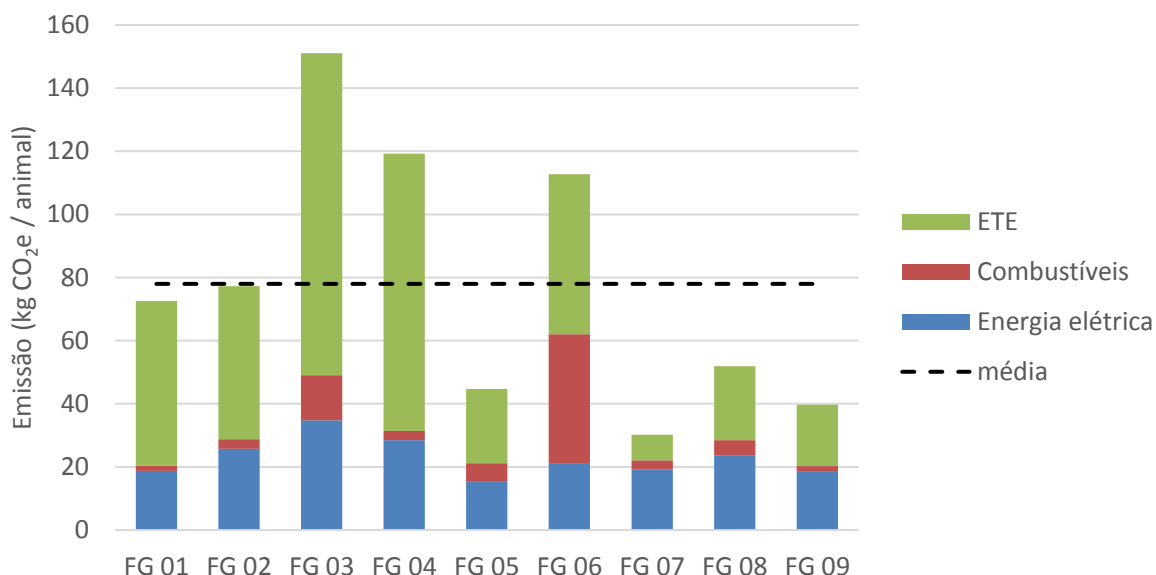
Frigorífico	Energia elétrica	Bagaço de cana	BPF	Cavaco de madeira	GLP	Lenha	Óleo diesel	ETE (CH ₄)	ETE (N ₂ O)	TOTAL
FG 01	19	-	-	-	0,29	1,3	0,01	51	1,06	73
FG 02	26	-	-	0,6	0,04	2,1	0,29	48	0,05	77
FG 03	35	14	-	-	0,69	-	-	101	0,69	151
FG 04	28	-	-	2,8	0,18	-	0,01	88	0,11	119
FG 05	15	-	-	-	-	5,7	0,01	23	0,80	45
FG 06	21	-	34	-	0,51	1,3	5,13	51	0,03	113
FG 07	19	-	-	-	0,61	2,1	0,09	8	0,03	30
FG 08	24	-	-	4,4	0,07	-	0,30	23	0,19	52
FG 09	18	-	-	-	0,47	1,1	0,27	19	0,64	40
MÉDIA										78

Fonte: elaboração própria

⁸ Todos os resultados foram também calculados pela abordagem *top-down* para verificação de consistência, porém não são apresentados neste relatório para não confundir o leitor.

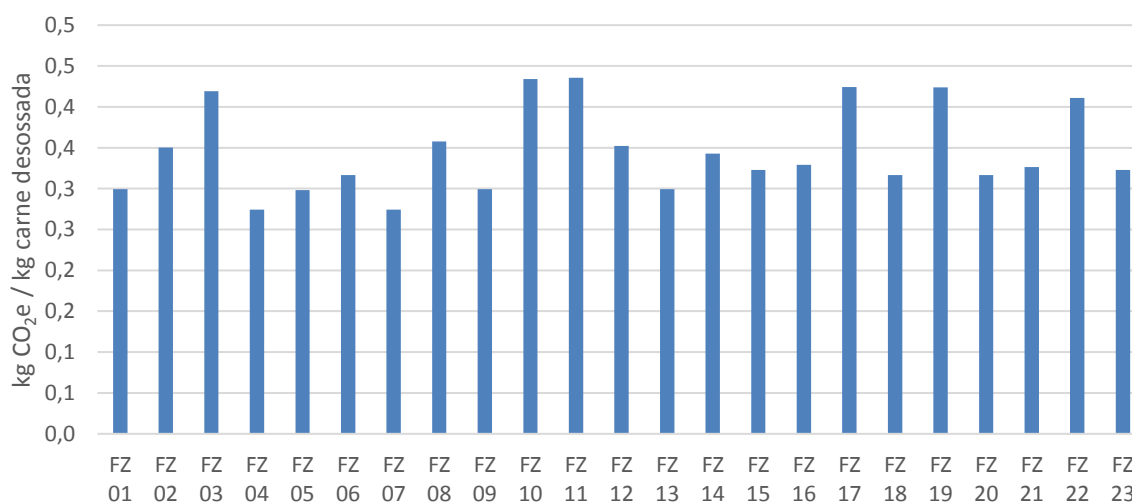


Figura 15: Principais fontes de emissão de GEE dos frigoríficos, em kg CO₂e por animal



Fonte: elaboração própria

Figura 16: Emissão de GEE dos frigoríficos, em kg CO₂e por kg de carne desossada



Fonte: elaboração própria

É possível observar que há uma grande variação entre o perfil de emissões das unidades frigoríficas, principalmente em relação à ETE e ao tipo de combustível utilizado para operação da planta.

A contribuição dos frigoríficos para o ciclo de vida da produção de carne bovina está associada majoritariamente aos rendimentos de carcaça e desossa. As emissões decorrentes da produção e consumo de combustíveis e eletricidade e do tratamento de resíduos não são significativas em estudos do berço ao porto europeu, representando entre 0,4% e 1,3% da pegada total, conforme será detalhado na Figura 18.



5.3. Transporte e exportação

As emissões das diversas atividades de transporte podem ser observadas na Tabela 40 e Tabela 41. Na primeira, são apresentados os resultados das atividades de transporte à montante da fazenda, como T1 (transportes de insumos utilizados na fazenda) e T2 (transporte da ração animal até a fazenda). Na segunda, são apresentados os resultados para T4, T6 e T7, que se referem às atividades de logística e de exportação.

As emissões do transporte de combustíveis para o frigorífico (T5) já foram contabilizados anteriormente e consideraram os valores *default* da base de dados ecoinvent. Esses valores representam cerca de 5% das emissões dos inventários “*market for*” desses produtos.

As emissões relacionadas ao T3 (transportes de animais comprados até a fazenda) não são contabilizadas no caso da abordagem híbrida ou *bottom-up*, devido à falta de rastreabilidade do número de fazendas que cada animal percorre. Além disso, na abordagem *top-down* e em outras estimativas, essas emissões são muito inferiores a 1% da PC da carne bovina e, portanto, os autores decidiram excluí-las do estudo.



Tabela 40: Emissões de GEE das atividades de transporte de insumos, em kg CO₂e / kg carne desossada

Fazenda	Transporte de fertilizantes e corretivos agrícolas (T1)	Transporte de ração animal (T2)
FZ 01	0,01	0,09
FZ 02	0,02	0,30
FZ 03	0,01	0,06
FZ 04	0,28	0,01
FZ 05	0,00	0,16
FZ 06	0,00	0,10
FZ 07	0,01	0,11
FZ 08	0,00	0,09
FZ 09	0,00	0,08
FZ 10	0,00	0,18
FZ 11	0,00	0,05
FZ 12	0,05	0,06
FZ 13	0,00	0,04
FZ 14	0,01	0,04
FZ 15	0,05	0,07
FZ 16	0,01	0,12
FZ 17	0,01	0,09
FZ 18	0,06	0,07
FZ 19	0,00	0,12
FZ 20	0,05	0,11
FZ 21	0,07	0,10
FZ 22	0,00	0,01
FZ 23	0,01	0,07

Fonte: elaboração própria

As emissões do transporte dos animais vivos das fazendas até as unidades frigoríficas (T4) e, por fim, da carne desossada dos frigoríficos até o porto europeu (T6 e T7) foram obtidas a partir de médias. Já o transporte de combustíveis para o frigorífico (T5), foi contabilizado anteriormente na etapa do frigorífico, e consideraram os valores *default* da base de dadosecoinvent. Esses valores representam cerca de 5% das emissões dos inventários “*market for*” desses produtos.

Tabela 41: Emissões de GEE das atividades de transporte e exportação da carne bovina brasileira, em kg CO₂e / kg carne desossada

Transporte	Sigla	Modal	Distância média	Massa transportada	Emissão de GEE
Transporte do animal vivo para o frigorífico	T4	rodoviário	200 km	2,5 kg	0,07
Transporte da carne desossada para o porto brasileiro	T6	rodoviário	1.256 km	1 kg	0,51
Transporte da carne desossada para o porto europeu	T7	marítimo	10.056 km	1 kg	0,19

Fonte: elaboração própria



Analisando a Tabela 41, chama a atenção o fato de que, considerando os rendimentos de carcaça e desossa, são necessários 2,5 kg de peso vivo para produzir 1 kg de carne desossada. Em outras palavras, apenas 40% do animal é transformado em carne desossada.

De um modo geral, dentre as atividades de transporte, o transporte da carne bovina desossada (T6 e T7) contou com uma maior contribuição, representando entre 60% e 90% das emissões.

Um fato interessante é que, ao contrário do que o senso comum poderia imaginar, as emissões de GEE das atividades de transporte da carne bovina desossada até o porto europeu apresentam pouca significância na PC. Isso se deve ao fato de que, apesar de envolverem longas distâncias, grande parte é percorrida pelo modal marítimo que conta com uma alta eficiência em relação às emissões de GEE (a distância de T7 é oito vezes maior do que T6, mas a emissão é 62% menor).

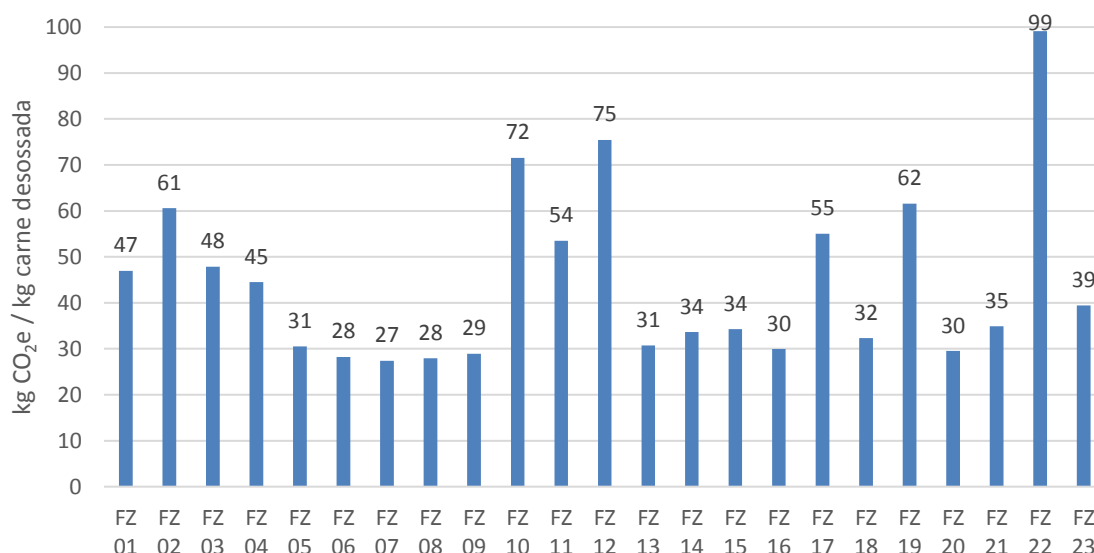
5.4. Pegada de carbono da carne bovina

As emissões agregadas do ciclo de vida da carne bovina foram obtidos a partir da soma das emissões de GEE das diversas etapas que compõe o sistema de produto estudado, a saber: processos de fabricação dos insumos, processos dentro da fazenda ligados aos animais e a demais processos, atividades de transporte e atividade frigorífica, conforme detalhado na Figura 3. Considerando que cada fazenda representa um sistema único, os resultados da PC da carne são apresentados para cada fazenda.

Os resultados da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, do berço ao porto europeu, são apresentados na Figura 17. Em termos gerais, os valores da PC variam de 27 a 99 kg CO₂e / kg carne desossada. Essas grandes variações entre os resultados das 23 fazendas estudadas são influenciadas principalmente pelas emissões de dMUT, que contribuem com valores entre 11 e 59 kg CO₂e / kg carne desossada.



Figura 17: Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a União Europeia



Fonte: elaboração própria

A análise de contribuição das principais atividades do ciclo de vida da carne bovina desossada é apresentada na parte superior da Figura 18. A Figura também apresenta as principais fontes de emissão da fazenda na parte inferior.

Conforme esperado, a principal etapa que contribuiu para o impacto de mudanças climáticas foi a produção dos animais na fazenda. Essa etapa representou de 85% a 98% das emissões e foi afetada principalmente por GEE provenientes da fermentação entérica e da dMUT, e em menores proporções do manejo de dejetos e da aplicação de fertilizantes e corretivos.

Outra etapa do ciclo de vida é a produção da ração animal. As emissões da produção dos componentes da ração (em sua maioria, grãos) variou de 0,1 a 6,7% da PC, com valores absolutos variando de 0,04 a 3,4 kg CO₂e / kg carne desossada. Essas diferenças podem ser explicadas pelo maior ou menor uso desses produtos no sistema de produção das fazendas.

As emissões derivadas da produção e transporte de fertilizantes e corretivos corresponderam a menos de 4% das emissões de GEE, com exceção da fazenda 04 onde a produção de fertilizantes e corretivos (nitrato de amônio e calcário) contribuiu com 13%. Um comportamento similar é observado para as emissões derivadas da aplicação desses insumos. Os autores acreditam que tal discrepância pode ser atribuída ao melhor manejo da pastagem, visto que esta é a única fazenda que praticamente não utilizou ração animal. Uma outra possibilidade pode estar relacionada ao uso de uma grande quantidade de corretivos agrícolas para a realização da reforma da pastagem, justamente no ano da coleta de dados



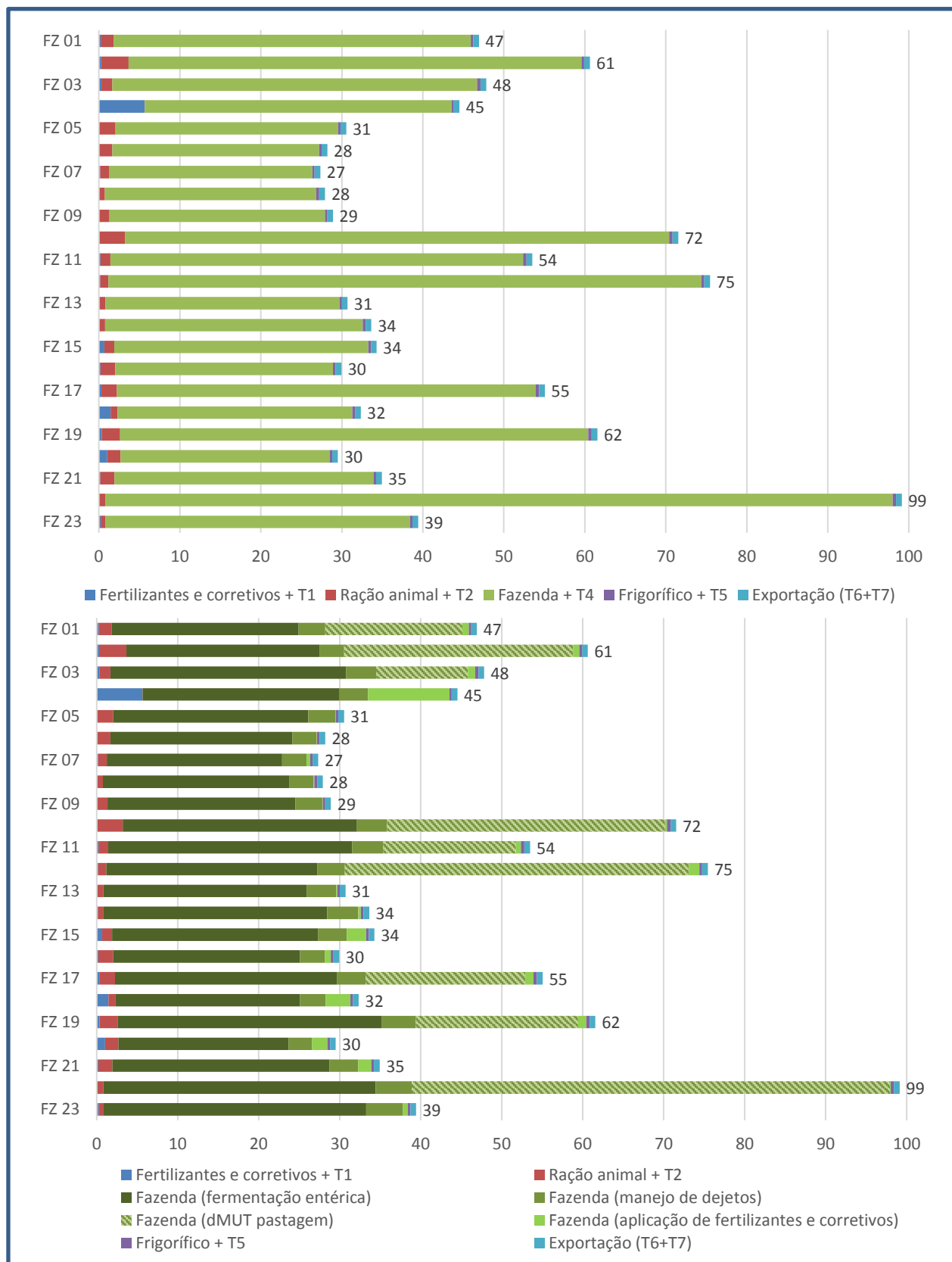
(2018). Por fim, uma última hipótese pode estar relacionada à problemas na coleta de dados de fertilizantes e corretivos dessa fazenda.

Os resultados apontam, ainda, que menos de 2% (entre 0,4% e 1,3%) da PC da carne bovina está relacionada com as emissões de GEE dos frigoríficos. Tais valores são, inclusive, inferiores aos relacionados à exportação (T6+T7), que representam de 0,7% a 2,6% do total de emissões de GEE.

Considerando o exposto, pode-se dizer que, para a gestão das emissões do ciclo de vida do ponto de vista dos frigoríficos é primordial o conhecimento de sua cadeia de valor, priorizando pela rastreabilidade e garantia de origem dos animais.



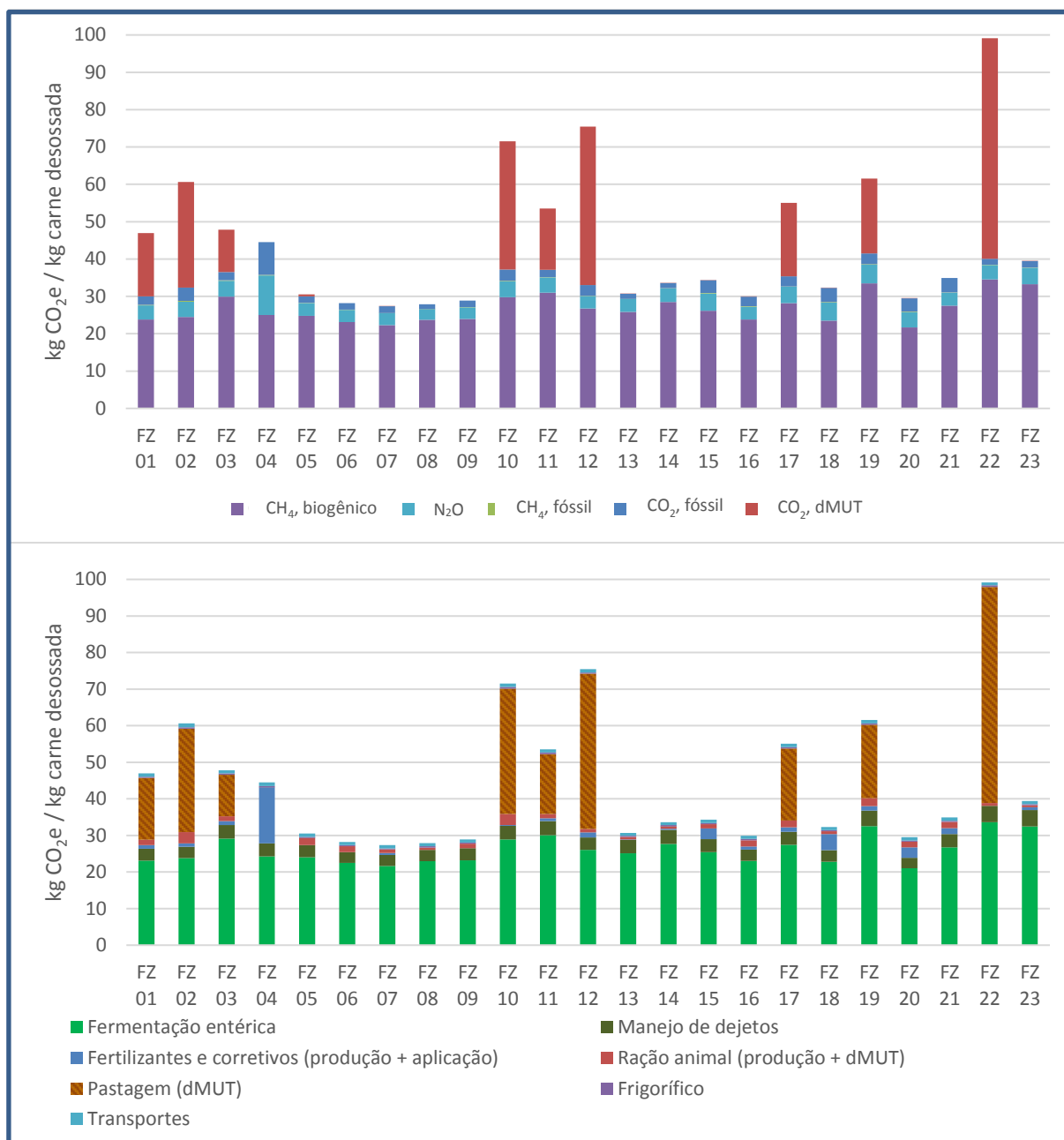
Figura 18: Principais etapas e fontes de emissão da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, em kg CO₂e / kg carne desossada



Fonte: elaboração própria



Figura 19: Principais gases e fontes de emissão da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, em kg CO₂e / kg carne desossada



Fonte: elaboração própria

A Figura 19 apresenta as emissões da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE a partir dos tipos de GEE e das principais fontes emissoras. Observando-se essa figura, pode-se verificar uma grande correlação entre os GEE e as principais fontes de emissão.

Em relação aos GEE, os principais contribuintes da PC da carne bovina foram: metano biogênico (CH₄, biogênico), com emissões entre 22 e 34 kg CO₂e / kg carne desossada; dióxido de carbono (CO₂, dMUT) derivado de dMUT, com emissões de até 59 kg CO₂e / kg carne desossada; óxido nitroso (N₂O), com emissões em torno de 4 kg CO₂e / kg carne desossada;



dióxido de carbono fóssil ($\text{CO}_{2, \text{fóssil}}$) e metano fóssil ($\text{CH}_{4, \text{fóssil}}$), com valores médios de 2,7 e 0,1 kg CO_2e / kg carne desossada, respectivamente.

Novamente, percebe-se como o metano biogênico proveniente principalmente da fermentação entérica dos animais exerce grande influência e representa uma parcela importante na PC da carne bovina. Por exemplo, ainda que todas as outras emissões fossem desconsideradas, todas as fazendas analisadas teriam emissões de, no mínimo, 21 kg CO_2e / kg carne desossada, proveniente desta fonte de emissão (Tabela 42).

Além disso, fica evidente como a expansão das pastagens sobre outros usos da terra (dMUT) pode contribuir para a emissão de dióxido de carbono ($\text{CO}_{2, \text{dMUT}}$). Em alguns casos (como nas fazendas FZ12 e FZ22), essas emissões podem mais do que dobrar a PC da carne e, inclusive, superar as emissões da fermentação entérica. Naturalmente, a representatividade dessa fonte no total da PC está diretamente relacionada à localização da fazenda, ao histórico e do perfil de uso da terra da região. Portanto, ainda que existam grandes incertezas associadas, a contabilização da dMUT é extremamente relevante e deve ser computada nos cálculos de PC.

Nota-se também que as emissões de óxido nitroso estão relacionadas principalmente à aplicação de fertilizantes nitrogenados nas pastagens e também pelo manejo de dejetos. Já as emissões de $\text{CO}_{2, \text{fóssil}}$ são afetadas majoritariamente pela produção de fertilizantes e corretivos e aplicação de ureia e calcário. Veja, por exemplo, a fazenda 04, que utiliza maiores quantidades de calcário e nitrato de amônio e apresenta, consequentemente, maiores emissões de N_2O e $\text{CO}_{2, \text{fóssil}}$.

Por fim, as emissões de ração animal, do frigorífico e de transporte apresentaram contribuições de 0,1% - 6,2%; 0,4% - 1,3% e 0,8% - 3,3%, respectivamente.



Tabela 42: PC da carne bovina, em kg CO₂e / kg carne desossada, do berço ao porto europeu, por fonte de emissão

Fazenda	Fertilizantes e corretivos + T1	Ração animal + T2	Fazenda + T4				Frigorífico + T5	Transporte (T6+T7)	Total
			Fermentação entérica	Manejo de dejetos	dMUT pastagem	Outros			
FZ 01	0,24	1,58	23,1	3,28	16,9	0,79	0,30	0,70	46,9
FZ 02	0,28	3,37	23,8	3,04	28,3	0,79	0,35	0,70	60,6
FZ 03	0,33	1,35	29,1	3,70	11,3	0,89	0,42	0,70	47,8
FZ 04	5,63	0,04	24,2	3,59	0,00	10,0	0,27	0,70	44,5
FZ 05	0,00	2,06	24,1	3,34	0,01	0,07	0,30	0,70	30,5
FZ 06	0,00	1,67	22,5	2,97	0,00	0,07	0,32	0,70	28,2
FZ 07	0,17	1,07	21,7	3,02	0,00	0,46	0,27	0,70	27,3
FZ 08	0,00	0,75	23,0	3,04	0,00	0,07	0,36	0,70	27,9
FZ 09	0,00	1,32	23,2	3,30	0,00	0,07	0,30	0,70	28,9
FZ 10	0,07	3,15	28,9	3,70	34,3	0,24	0,43	0,70	71,5
FZ 11	0,22	1,21	30,1	3,86	16,4	0,62	0,44	0,70	53,5
FZ 12	0,16	1,02	26,0	3,42	42,4	1,31	0,35	0,70	75,5
FZ 13	0,07	0,74	25,1	3,67	0,00	0,15	0,30	0,70	30,7
FZ 14	0,13	0,65	27,7	3,84	0,01	0,30	0,34	0,70	33,6
FZ 15	0,67	1,24	25,4	3,55	0,00	2,39	0,32	0,70	34,3
FZ 16	0,19	1,85	23,1	3,07	0,00	0,74	0,33	0,70	29,9
FZ 17	0,32	1,92	27,4	3,55	19,7	1,01	0,42	0,70	55,1
FZ 18	1,45	0,83	22,8	3,17	0,00	3,04	0,32	0,70	32,3
FZ 19	0,35	2,28	32,6	4,18	20,1	1,00	0,42	0,70	61,6
FZ 20	1,03	1,64	21,0	2,89	0,00	1,92	0,32	0,70	29,5
FZ 21	0,18	1,76	26,8	3,58	0,00	1,61	0,33	0,70	34,9
FZ 22	0,00	0,82	33,6	4,47	59,1	0,07	0,41	0,70	99,1
FZ 23	0,24	0,60	32,4	4,52	0,00	0,61	0,32	0,70	39,4

Fonte: elaboração própria

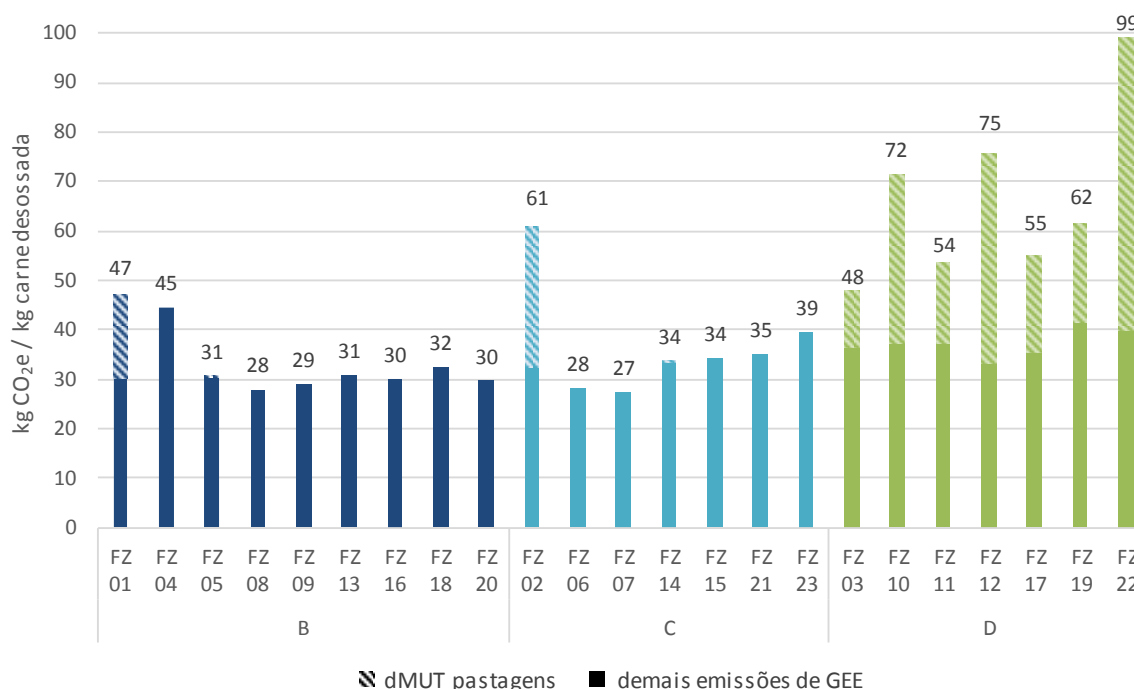


Como apresentado na seção 2.1, para levar em consideração a heterogeneidade dos sistemas de produção de carne bovina nacionais com foco em exportação, o estudo analisou fazendas considerando quatro diferentes sistemas de produto:

- Sistema de produto A – Carne bovina produzida no Brasil (caso geral);
- Sistema de produto B – Carne bovina produzida no Brasil e exportada para o mercado europeu;
- Sistema de produto C – Carne bovina produzida no Brasil e exportada para o mercado europeu via cota Hilton;
- Sistema de produto D – Carne bovina produzida no Brasil com boas práticas ambientais em programas estruturados.

Os resultados desta avaliação, por sistema de produto, podem ser observados na Figura 20. Vale ressaltar que a amostra do estudo (23 fazendas) não é aleatória e, portanto, não é representativa do universo de fazendas que compõe cada sistema de produto.

Figura 20: PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, por sistema de produto



Fonte: elaboração própria

O sistema de produto A apresentou PC de 60 kg CO₂e / kg de carne desossada. No entanto, esse sistema de produto não foi apresentado na Figura 20 para evitar comparações diretas, visto que apresenta premissas e contornos metodológicos diferentes do presente estudo.

Não foram observadas diferenças expressivas entre a carne bovina exportada para UE de forma convencional e via Cota Hilton; a pequena amostra avaliada não permite fazer



nenhuma avaliação mais profunda nesse ponto, como tampouco diferenciar as práticas dentro das fazendas dos sistemas de produto B e C, conforme previsto na seção 2.2.

Outro sistema de produto estudado foi a carne bovina produzida no Brasil com boas práticas ambientais em programas estruturados (sistema de produto D). Como pode ser observado na Figura 20, esse sistema de produto apresentou, em geral, valores superiores aos sistemas de produto B e C. Uma das práticas comuns nessas fazendas é a recuperação de pastagens; no entanto, as emissões de dMUT ocasionadas pelo manejo da pastagem não foram consideradas no cálculo da PC. Além disso, o fato de todas as fazendas desse grupo estarem localizadas no estado do Mato Grosso, onde houve expansão de pastagem sobre vegetação nativa nos últimos 20 anos, refletiu em altas emissões de dMUT. Dessa forma, as emissões de dMUT acabaram elevando a PC dessas fazendas para os níveis mais altos da amostra analisada.

É importante lembrar que o presente estudo não utilizou dados primários referentes a mudança de uso da terra. Ao invés disso, foi utilizada a ferramenta BRLUC v1.2 que considerou a dMUT, em nível estadual, para um período de 20 anos. Na amostra estudada, isto implica em atribuir emissões derivadas da dMUT a todas as fazendas localizadas nos estados do MT e MG. Uma maneira de diminuir incertezas e representar de maneira mais realística a dinâmica da mudança de uso da terra nas localidades específicas de cada fazenda, seria ampliar o grau de regionalização do método BRLUC para o nível municipal.

5.5. Findings

Durante a fase de interpretação dos resultados, foi possível perceber correlações interessantes entre a PC e alguns parâmetros ligados à reprodução, abate e manejo de pastagens. Assim, essa seção tem como objetivo apresentar os principais *findings* do estudo relacionadas a esses aspectos.

5.5.1. Emissões da progenitora

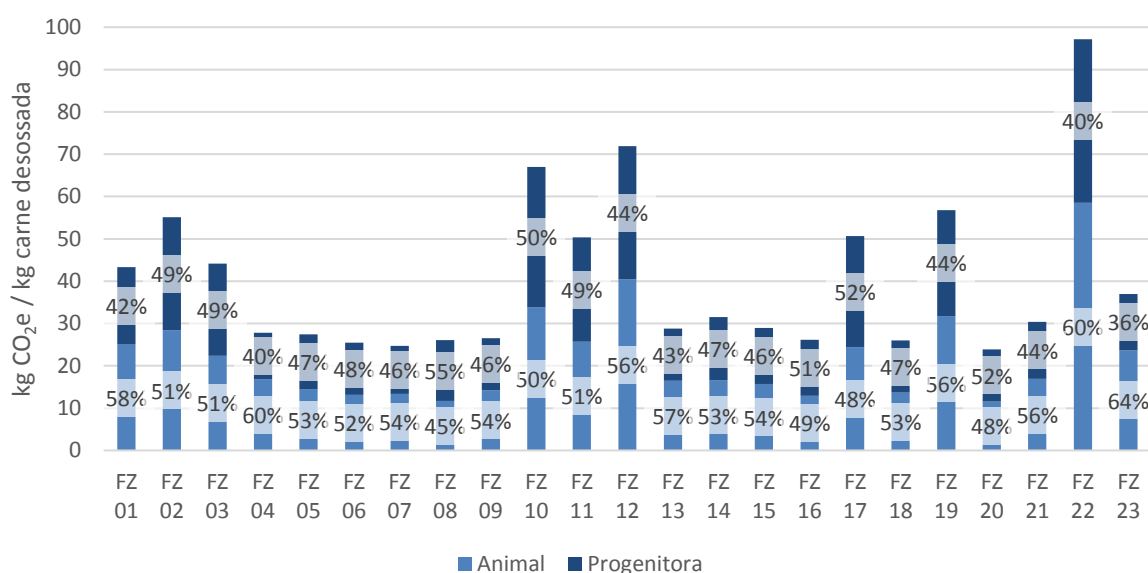
O papel da fêmea reprodutora é bastante reconhecido pelos pecuaristas. A importância da reprodução está diretamente relacionada com a rentabilidade da fase de cria da pecuária de corte. Nas últimas décadas, diversas tecnologias foram desenvolvidas para aumentar a eficiência do sistema reprodutivo: estação de monta, desmame precoce, inseminação artificial e transferência de embriões (NICACIO, 2016).



A PC da carne, quando analisada pela abordagem *bottom-up*, traz uma informação interessante a respeito da reprodução animal: a contribuição da progenitora pode ser bastante relevante.

A Figura 21 traz as contribuições do animal e de sua progenitora no cálculo das emissões de GEE pela abordagem *bottom-up*. Segundo esta abordagem, as emissões da progenitora atribuídas à PC correspondem ao intervalo entre partos (período entre dois partos de uma fêmea reprodutora).

Figura 21: Contribuição do animal e de sua progenitora pela abordagem *bottom-up**



*Estão incluídas somente as emissões da fermentação entérica, manejo de dejetos e dMUT das pastagens

Fonte: elaboração própria

Ao olhar pela ótica de um único animal, as emissões de sua progenitora podem representar, em média, 46% da PC (mas podendo variar de 36% a 55%). A partir desta análise, o intervalo entre partos passa a ser um indicador direto da eficiência do sistema reprodutivo.

Essa é uma grande vantagem da abordagem *bottom-up* em comparação com a abordagem *top-down*, tradicionalmente utilizada em estudos de ACV de produtos da pecuária. Quando os resultados são analisados pela abordagem *top-down*, calcula-se as emissões do rebanho como um todo, geralmente em um formato “caixa preta” (agregado). Nesse caso, a relação animal-progenitora não fica evidente e os efeitos da eficiência do sistema reprodutivo ficam relacionados à PC apenas de forma indireta.



Este *finding* passa a ser relevante do ponto de vista da gestão climática. Naturalmente, deve-se levar em consideração outros aspectos ambientais, bem como o bem-estar animal e a saúde das progenitoras para que esse fator seja utilizado em processos de tomada de decisão com foco na gestão das emissões de GEE na pecuária.

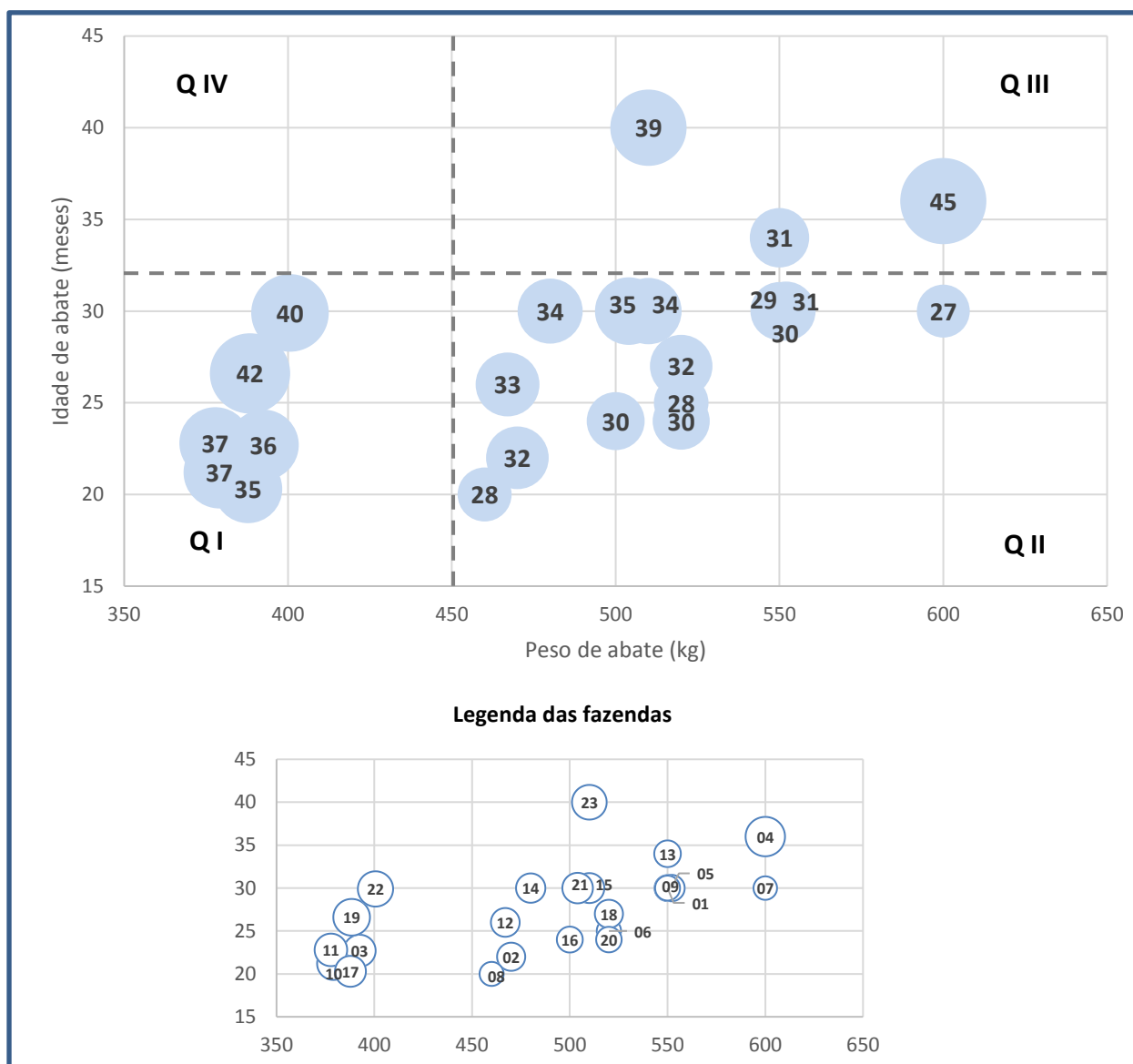
5.5.2. Idade de abate *versus* peso de abate

Outra importante contribuição do estudo foi constatar como as características do animal no momento da venda para o abate estão intrinsicamente relacionadas com a PC da carne bovina. Ao correlacionar idade e peso de abate com a PC, foi possível notar que a redução da idade de abate, quando não acompanhada da redução do peso de abate, tem grande potencial para redução das emissões de GEE da pecuária de corte.

A Figura 22 apresenta a relação da PC com a idade e o peso de abate dos animais. A fim de evitar a interferência de outra importante variável, a dMUT das pastagens foi excluída desta análise.



**Figura 22: Relação da PC com a idade e o peso de abate;
o tamanho das bolhas representa a PC, em kg CO₂e / kg carne desossada***



* Para a elaboração desse gráfico, não foi considerada a dMUT das pastagens.

Fonte: elaboração própria

No primeiro quadrante (Q I), encontram-se as fazendas que abatem os animais mais cedo e mais leves (com idade entre 20 e 32 meses e peso entre 380 e 450 kg). Essas fazendas apresentam, no geral, os piores desempenhos ambientais em relação aos GEE, com a PC média de 38 kg CO₂e / kg carne desossada (variando entre 35 a 42 kg CO₂e / kg carne desossada).

Já no segundo quadrante (Q II), encontram-se as fazendas cujos animais são abatidos mais cedo, porém mais pesados (com idade entre 20 e 32 meses e peso superior a 450 kg). Tal combinação favorece o desempenho ambiental na medida que reduz a quantidade de metano



emitida ao longo do ciclo de vida e aumenta a quantidade de carne produzida. Nesses casos, a PC variou de 27 a 35 kg CO₂e / kg carne desossada, com média de 31 kg CO₂e / kg carne desossada.

No quadrante Q III estão as fazendas que abatem os animais com idade acima de 32 meses e peso superior a 450 kg. No presente estudo, apenas três fazendas se enquadraram nesse perfil e apresentaram grande variabilidade em sua PC, sendo 31, 39 e 45 kg CO₂e / kg carne desossada.

Por fim, o quarto quadrante (Q IV) refere-se às fazendas com animais abatidos com idade avançada (acima de 32 meses) e baixo peso (até 450 kg) – esse seria o pior caso possível para o desempenho de uma fazenda e da PC. Felizmente, na amostra do estudo, nenhum caso como esse foi encontrado.

É interessante notar que os sistemas intensivos de produção pecuária têm um grande potencial para promover a transição do Q III para o Q II, por meio do uso de tecnologias que promovam a manutenção das pastagens e a suplementação alimentar/confinamento (BUNGENSTAB, 2012), visando a redução da idade de abate dos animais, mas com manutenção de seu peso alto.

Por outro lado, a tendência crescente de redução da idade de abate observada nos programas de produção de novilhos precoces (abatidos aos 24 a 26 meses) e superprecoces (abatidos aos 13 a 15 meses) (BARBOSA ALVIM et al., 2015; BUNGENSTAB, 2012), pode gerar resultados contrários ao desejado do ponto de vista das emissões de GEE da carne: caso os animais abatidos precoce e superprecocemente apresentem peso muito baixo, a tendência é que sua PC seja maior. De forma simplificada considerou-se que o rendimento de carcaça e desossa permanece constante, independentemente da idade de abate, o que é uma limitação do estudo.

Esse fato reforça a necessidade de conhecimento específico sobre as variáveis que influenciam na PC da carne, uma vez que a gestão dessas é complexa e interdependente com outras variáveis. Em outras palavras, focar as estratégias de redução das emissões de GEE apenas na idade de abate, por exemplo, nem sempre resultará em uma PC menor – mesmo que as emissões oriundas da fermentação entérica sejam proporcionalmente menores.

5.5.3. Taxa de ocupação

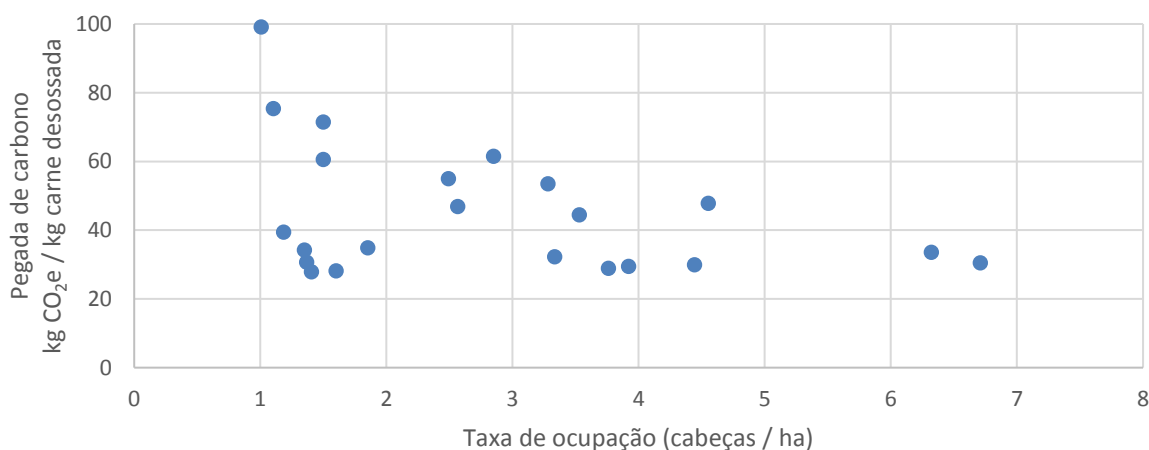
O uso intensivo das pastagens é tido muitas vezes como sinônimo de baixas emissões de GEE. De acordo com os dados coletados neste estudo, pode-se verificar que esta



constatação nem sempre é válida. A Figura 23 correlaciona a PC da carne bovina com a taxa de ocupação das fazendas estudadas (número de animais por hectare).

Não há evidências de que a taxa de ocupação tenha influência direta sobre a PC, visto que uma série de fatores combinados afetam a PC da carne, como os discutidos anteriormente (intervalo entre partos, idade de abate, peso de abate).

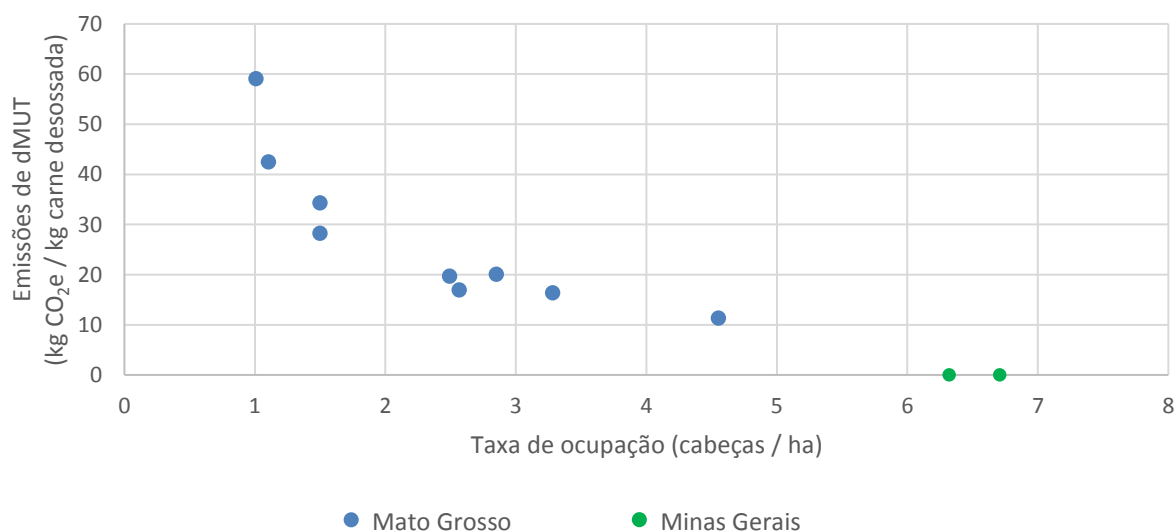
Figura 23: Relação da PC com a taxa de ocupação das pastagens



Fonte: elaboração própria

No entanto, quando se analisa apenas as emissões de dMUT das fazendas localizadas nos estados onde houve expansão de pastagens – MG e MT, percebe-se uma forte correlação entre a PC e a taxa de ocupação (Figura 24).

Figura 24: Relação das emissões de dMUT com a taxa de ocupação das pastagens.



Fonte: elaboração própria



Nas fazendas localizadas no estado do MT, há uma clara tendência de redução das emissões de dMUT à medida em que se aumenta a taxa de ocupação das pastagens, conforme evidenciado na Figura 24. Já as fazendas localizadas em MG apresentam impactos de dMUT bem inferiores às aquelas localizadas no MT, o que dificulta possíveis correlações.

Além disso, este estudo não leva em consideração o efeito “poupa-terra” que o aumento da taxa de ocupação proporciona. Tal efeito é conhecido por liberar área para outros usos, evitando o desmatamento de vegetação nativa (CORDEIRO et al., 2015), e seria capturado apenas com a inclusão das emissões indiretas do uso da terra (iLUC).



6. AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A fim de oferecer um diagnóstico robusto da amostra estudada, uma avaliação detalhada de algumas variáveis (aspectos ambientais) foi realizada, considerando: (i) avaliação de cenários e (ii) análise de sensibilidade. Os resultados dessas análises são apresentados a seguir e derivam dos resultados originais do estudo (apresentados no Capítulo 5).

Neste documento, entende-se por análise de sensibilidade os procedimentos sistemáticos utilizados para estimar os efeitos das escolhas metodológicas do estudo nos resultados, como o método de AICV. Por outro lado, a avaliação de cenários estima resultados com base em cenários alternativos (e factíveis) ao de referência. Ou seja, cenários que podem de fato acontecer a depender das diferentes técnicas de manejo praticadas pelos pecuaristas, como: intervalo entre partos maiores ou menores, supressão de vegetação nativa (desmatamento) ou recuperação de pastagens degradadas.

Em todos os casos avaliados neste capítulo, uma variável isolada foi alterada para investigar os seus efeitos diretos na PC. A seguir, a metodologia utilizada e os resultados obtidos dessas análises são apresentados.

6.1. Avaliação de cenários

6.1.1. Mudança de uso da terra

Como discutido no capítulo anterior, a contabilização da dMUT deve ser considerada nos cálculos de PC. No entanto, dado o elevado impacto que essa variável exerce nos resultados e o seu alto grau de incerteza, uma análise mais profunda é recomendável (NOVAES et al., 2017). Assim, três cenários de dMUT foram avaliados e são descritos na Tabela 43:

Tabela 43: Descrição dos cenários de dMUT

Cenário avaliado	Descrição
Nulo	Considera nula a mudança de uso da terra
Desmatamento	Simula a supressão de vegetação nativa, considerando a transformação de vegetação nativa para pastagem moderadamente degradada em 100% da área (mudança de categoria de uso da terra).
Recuperação	Simula a recuperação de pastagens degradadas, considerando a transformação de pastagem severamente degradada para pastagem melhorada em 100% da área (mudança de manejo dentro da mesma categoria de uso da terra).

Fonte: elaboração própria



Os fatores de emissão decorrentes da dMUT foram quantificados conforme Equação 33, baseada no IPCC (2006). Os valores de estoque de carbono (CS) foram estimados utilizando a ferramenta BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017) e podem ser observados na Tabela 44. Os fatores de emissão obtidos são apresentados na Tabela 45.

Equação 33

$$FE_i = (CS_{ref} - CS_{atual}) \times \frac{44}{12} \times \frac{1}{20}$$

Sendo:

FE_i é o fator de emissão de dióxido de carbono relacionado à dMUT causada pela pastagem, em t CO₂/ha.ano;

CS_{ref} é o estoque de carbono do solo associado ao uso de referência do solo, em t C/ha;

CS_{atual} é o estoque de carbono do solo associado ao uso atual, em t C/ha;

$44/12$ é o fator de conversão de C para CO₂;

$1/20$ é o fator de depreciação linear dos estoques de carbono no solo, em anos.

Tabela 44: Estoque de carbono no solo, em t C/ha

Estado	Vegetação nativa	Pastagem moderadamente degradada	Pastagem severamente degradada	Pastagem melhorada
Mato Grosso do Sul	93	43	33	55
Mato Grosso	119	50	38	64
Goiás	86	48	37	61
São Paulo	160	47	36	60
Minas Gerais	104	45	35	58

Fonte: NOVAES et al. (2017)

Tabela 45: Fatores de emissão relacionados à mudança de uso da terra para pastagens

Estado	Fator de emissão (t CO ₂ /ha.ano)		
	Nulo	Desmatamento	Recuperação
Mato Grosso do Sul	0	9,18	-3,94
Mato Grosso	0	12,8	-4,70
Goiás	0	6,90	-4,51
São Paulo	0	20,6	-4,40
Minas Gerais	0	10,8	-4,26

Fonte: elaboração própria

Os cenários avaliados foram comparados com o cenário de referência, que considera as informações do nível “proporcional” do método BRLUC v1.2 (NOVAES et al., 2017). Como descrito na seção 4.2.4, o método BRLUC traz estimativas de emissão decorrentes da dMUT por tipo de cultivo entre o período de 20 anos (de 1996 a 2015) e considera a dinâmica de



expansão das diversas fitofisionomias presentes em cada um dos 27 estados brasileiros. A Tabela 46 apresenta a porcentagem de expansão sobre os diferentes usos da terra adotada no cenário de referência.

Tabela 46: Porcentagem de expansão de área de pastagem entre 1996 e 2015

Estado	Expansão sobre cultura anual	Expansão sobre vegetação nativa	Expansão Total	Fator de emissão (tCO ₂ /ha.ano)
Mato Grosso do Sul	-	-	0%	0
Mato Grosso	1%	22%	23%	2,820
Goiás	-	-	0%	0
São Paulo	-	-	0%	0
Minas Gerais	0,1%	0,1%	0,2%	0,005

Fonte: NOVAES et al. (2017)

Para o cálculo da PC dos cenários avaliados, os fatores de emissão obtidos pela Equação 33 foram aplicados na Equação 21. Os resultados podem ser observados na Tabela 47 e na Figura 25.

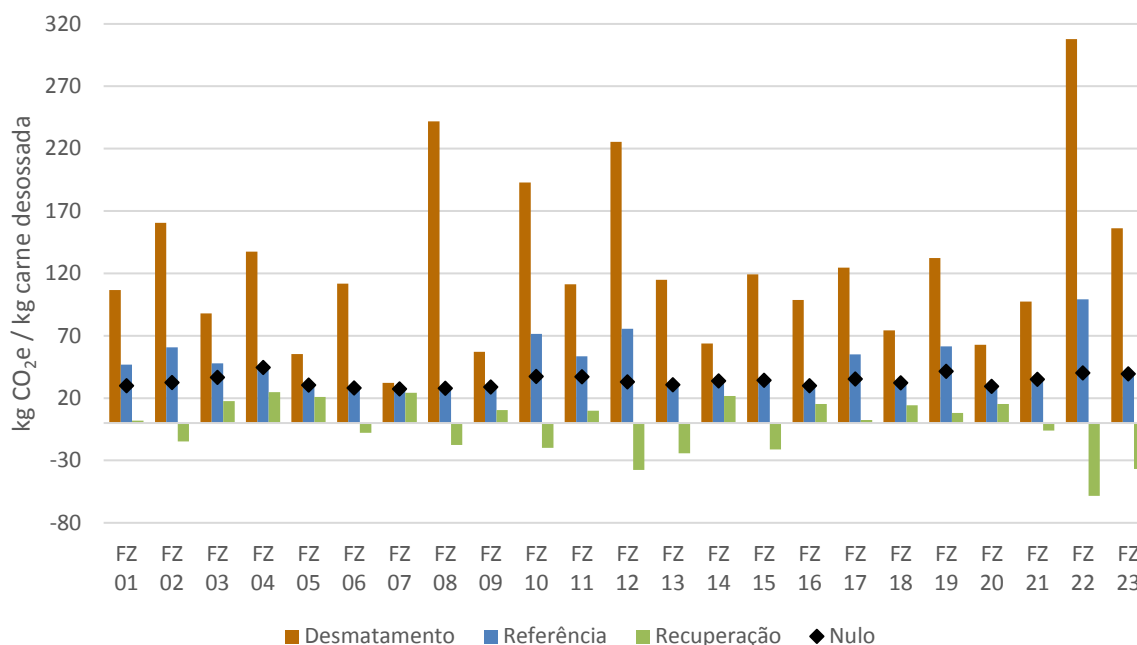
Tabela 47: Resultados do cenário de mudança de uso da terra na PC (kg CO₂e / kg carne desossada)

Fazenda	Referência	Nulo	Desmatamento	Recuperação
FZ 01	46,9	30,0	107	1,81
FZ 02	60,6	32,4	160	-14,7
FZ 03	47,8	36,5	87,9	17,6
FZ 04	44,5	44,5	137	24,7
FZ 05	30,5	30,5	55,2	20,8
FZ 06	28,2	28,2	112	-7,71
FZ 07	27,3	27,3	32,3	24,1
FZ 08	27,9	27,9	242	-17,7
FZ 09	28,9	28,9	57,2	10,4
FZ 10	71,5	37,2	193	-19,9
FZ 11	53,5	37,1	111	9,87
FZ 12	75,5	33,0	225	-37,7
FZ 13	30,7	30,7	115	-24,3
FZ 14	33,6	33,6	63,8	21,7
FZ 15	34,3	34,3	119	-21,2
FZ 16	29,9	29,9	98,8	15,3
FZ 17	55,1	35,3	125	2,50
FZ 18	32,3	32,3	74,4	14,3
FZ 19	61,6	41,5	132	8,11
FZ 20	29,5	29,5	62,9	15,2
FZ 21	34,9	34,9	97,5	-5,94
FZ 22	99,1	40,1	308	-58,3
FZ 23	39,4	39,4	156	-36,9

Fonte: elaboração própria



Figura 25: Cenários de dMUT na PC da carne bovina brasileira (kg CO₂e / kg carne desossada)



Fonte: elaboração própria

A Figura 25 ilustra como as variações dos cenários de dMUT afetam de forma brusca a PC, evidenciando o grande potencial de sequestro ou emissão de carbono na pegada da pecuária de corte. Neste estudo, o potencial de emissão causado pelo desmatamento foi, em todos os casos, superior ao potencial de sequestro obtido pela recuperação de pastagens degradadas (de duas a cinco vezes maior).

Vale lembrar que tanto o potencial de emissão quanto o potencial de sequestro devem ser computados na PC da carne bovina somente durante o período de amortização adotado (nesse caso, 20 anos). Conforme mostra o estudo de Cederberg et al. (2011), os valores da PC dependem fortemente do período de amortização escolhido.

Em termos gerais, o cenário desmatamento indicou um aumento da PC entre 18% e 766% em relação ao cenário de referência, variando de 32 a 307 kg CO₂e / kg carne desossada.

A recuperação de pastagens sabidamente propicia a fixação de carbono no solo (AMARAL; CORDEIRO; GALERANI, 2011). No presente estudo, o cenário recuperação apresentou reduções entre 12% e 194% em relação ao cenário de referência, sendo que as mudanças no manejo da pastagem contribuíram para o aumento do estoque de carbono do solo, levando a emissões líquidas de até -58 kg CO₂e / kg carne desossada. É importante destacar que esse é um cenário hipotético e considerou que: 100% da área das fazendas estavam na



condição de pastagem severamente degradada e passaram para pastagem melhorada; outras variáveis que muito provavelmente seriam modificadas à medida em que o pasto fosse melhorado (aumento da taxa de ocupação e aumento do consumo de fertilizantes e corretivos) não foram alteradas.

A partir dos resultados desta avaliação foi possível observar ainda que, quando nenhuma mudança de uso da terra é promovida, a PC da carne bovina permanece em torno de 30 kg CO₂e / kg carne desossada.

Portanto, os resultados desta pesquisa reforçam: (i) a importância de promover esforços para reduzir o desmatamento de mata nativa decorrente dos avanços da pecuária; e (ii) a necessidade de programas de incentivo à recuperação de pastagens degradadas.

6.1.2. Intervalo entre partos

A eficiência reprodutiva é um importante fator que influencia não só a PC da carne bovina, mas também a rentabilidade da pecuária de corte. Esse processo afeta diretamente o nível produtivo de um rebanho e depende de fatores nutricionais, sanitários, genéticos e de um manejo adequado (DIAZ et al., 2005). Nesse contexto, o intervalo entre partos (IP) é um importante parâmetro para a reprodução na pecuária de corte, visto que quanto menor o IP, maior o número de bezerros gerados no mesmo período.

Nos sistemas convencionais de produção pecuária, esse intervalo costuma variar entre 18 e 24 meses. No entanto, com a intensificação dos sistemas de manejo e alimentação, e uso de tecnologias de inseminação artificial, esse intervalo pode ser reduzido para 12 ou 13 meses.

Dois cenários foram simulados para avaliar os impactos da variação do IP na PC da carne bovina, e são descritos na Tabela 48.

Tabela 48: Descrição dos cenários de eficiência reprodutiva

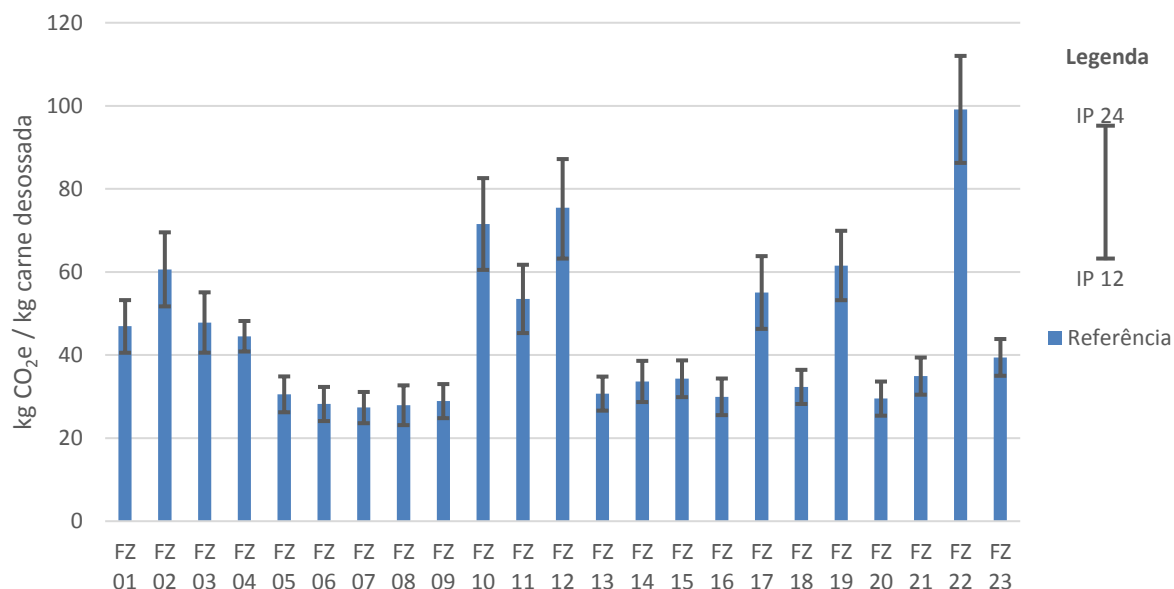
Cenário avaliado	Descrição
IP 12	Considera uma melhora na eficiência reprodutiva do rebanho (IP = 12 meses)
IP 24	Considera uma redução na eficiência reprodutiva do rebanho (IP = 24 meses)
referência	Considera a eficiência reprodutiva média brasileira (IP = 18 meses)

Fonte: elaboração própria

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 26 e na Tabela 49.



Figura 26: Cenários de eficiência reprodutiva na PC da carne bovina brasileira (kg CO₂e / kg carne desossada)



A barra superior se refere ao cenário IP 24 e a barra inferior ao cenário IP 12. A coluna azul representa o cenário de referência (IP 18).

Fonte: elaboração própria

Tabela 49: Resultados dos cenários de eficiência reprodutiva (kg CO₂e / kg carne desossada)

Fazenda	Referência	IP 24	IP 12
FZ 01	46,9	53,2	40,5
FZ 02	60,6	69,5	51,7
FZ 03	47,8	55,1	40,6
FZ 04	44,5	48,2	40,9
FZ 05	30,5	34,9	26,2
FZ 06	28,2	32,3	24,1
FZ 07	27,3	31,1	23,6
FZ 08	27,9	32,7	23,1
FZ 09	28,9	33,0	24,8
FZ 10	71,5	82,6	60,5
FZ 11	53,5	61,7	45,3
FZ 12	75,5	87,2	63,2
FZ 13	30,7	34,8	26,6
FZ 14	33,6	38,6	28,7
FZ 15	34,3	38,7	29,9
FZ 16	29,9	34,4	25,5
FZ 17	55,1	63,8	46,3
FZ 18	32,3	36,4	28,2
FZ 19	61,6	69,9	53,2
FZ 20	29,5	33,6	25,4
FZ 21	34,9	39,4	30,5
FZ 22	99,1	112	86,3
FZ 23	39,4	43,9	35,0

Fonte: elaboração própria



A partir dos dados simulados, pode-se observar que o IP está diretamente relacionado à PC da carne bovina, podendo representar aumento ou redução de até 14% nas emissões do produto em relação ao cenário de referência – respectivamente para IP24 e IP12. Ou seja, variando o tempo de intervalo entre partos para mais ou menos 6 meses, já é possível observar impactos significativos na PC da carne bovina. Este resultado reforça a importância dessa variável na composição das emissões do ciclo de vida da carne. Também direciona para o uso do método *bottom-up* para contabilização das emissões de GEE, sem o qual não é possível diferenciar as emissões provenientes da progenitora e dos filhotes.

Como dito anteriormente, a reprodução animal tem importante papel dentro da cadeia produtiva da carne. Porém, segundo Nicacio (2016), as propriedades rurais brasileiras apresentam fatores bastante aquém do ideal, sendo extremamente importante atuar junto aos produtores para melhorar, entre outros, os índices ligados à reprodução. O presente estudo demonstra como a diminuição do IP tem potencial para reduzir a PC da carne bovina.

6.2. Análise de sensibilidade

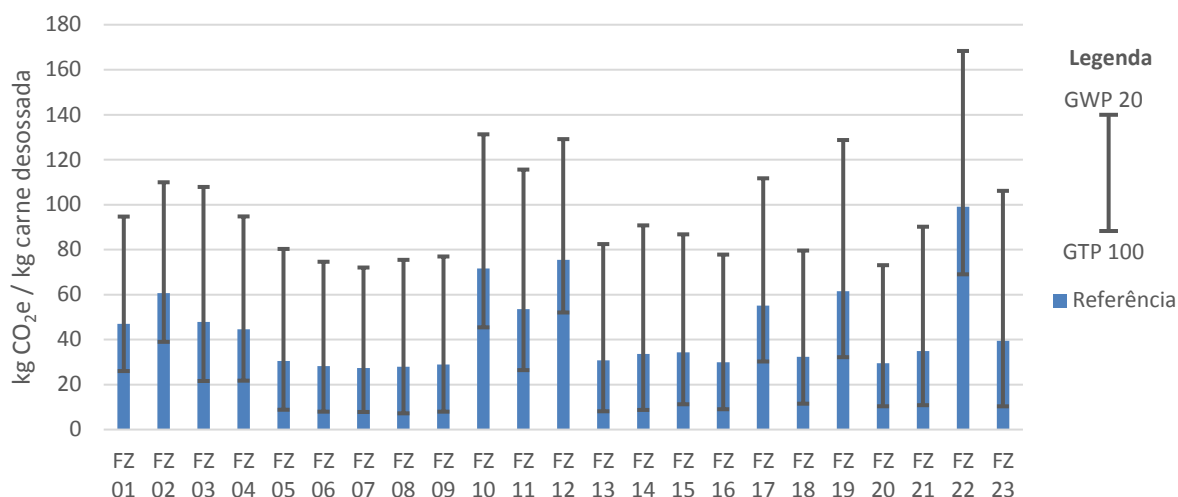
6.2.1. Método de AICV

Como dito na seção 2.6, a escolha da métrica e do horizonte temporal podem ter um grande impacto sobre a PC de produtos da pecuária ruminante, devido à grande quantidade de emissões de metano biogênico e óxido nitroso.

A inclusão de métricas alternativas e/ou a comparação de múltiplos horizontes de tempo tem sido recomendada como um meio para os estudos de ACV considerarem as implicações de diferentes escolhas e proporcionarem maior transparência nos resultados (DINATO et al., 2018; PERSSON et al., 2015; PICASSO et al., 2014). Por esse motivo, uma análise de sensibilidade foi realizada considerando os seguintes conjuntos de fatores de caracterização (FC): GWP 20 anos e GTP 100 anos. Para isto, utilizou-se os FC previamente indicados na Tabela 8. Os resultados obtidos foram comparados com o cenário de referência (GWP 100a) e são apresentados na Figura 27.



Figura 27: Influência dos FC na PC da carne bovina



A barra superior se refere ao cenário GWP 20 anos e a barra inferior ao GTP 100 anos.

Fonte: elaboração própria

Como esperado, a PC é fortemente afetada pela escolha da métrica ou horizonte temporal, principalmente devido a emissões de GEE não-CO₂, como o metano biogênico, que apresenta uma grande variação do FC a depender da métrica: GWP 100a: 28 kg CO₂e / kg; GWP 20a: 84 kg CO₂e / kg; GTP 100a: 4 kg CO₂e / kg.

A adoção do GTP 100a reduz substancialmente a PC da carne bovina. Entretanto, o GTP apresenta maiores incertezas associadas à métrica (PERSSON et al., 2015). Nesse caso, os resultados variam de 7 a 69 kg CO₂e/ kg carne desossada. Já a adoção do GWP 20 tem um efeito contrário, com resultados variando entre 72 e 168 kg CO₂e/ kg carne desossada.

O governo brasileiro defende o uso do GTP 100a e enfatiza a importância dessa métrica para a formulação de políticas públicas com vistas a evitar superestimar os efeitos de GEE não-CO₂, com menor tempo de permanência na atmosfera, em particular o metano (MCTI, 2016b; BRASIL, 2015).

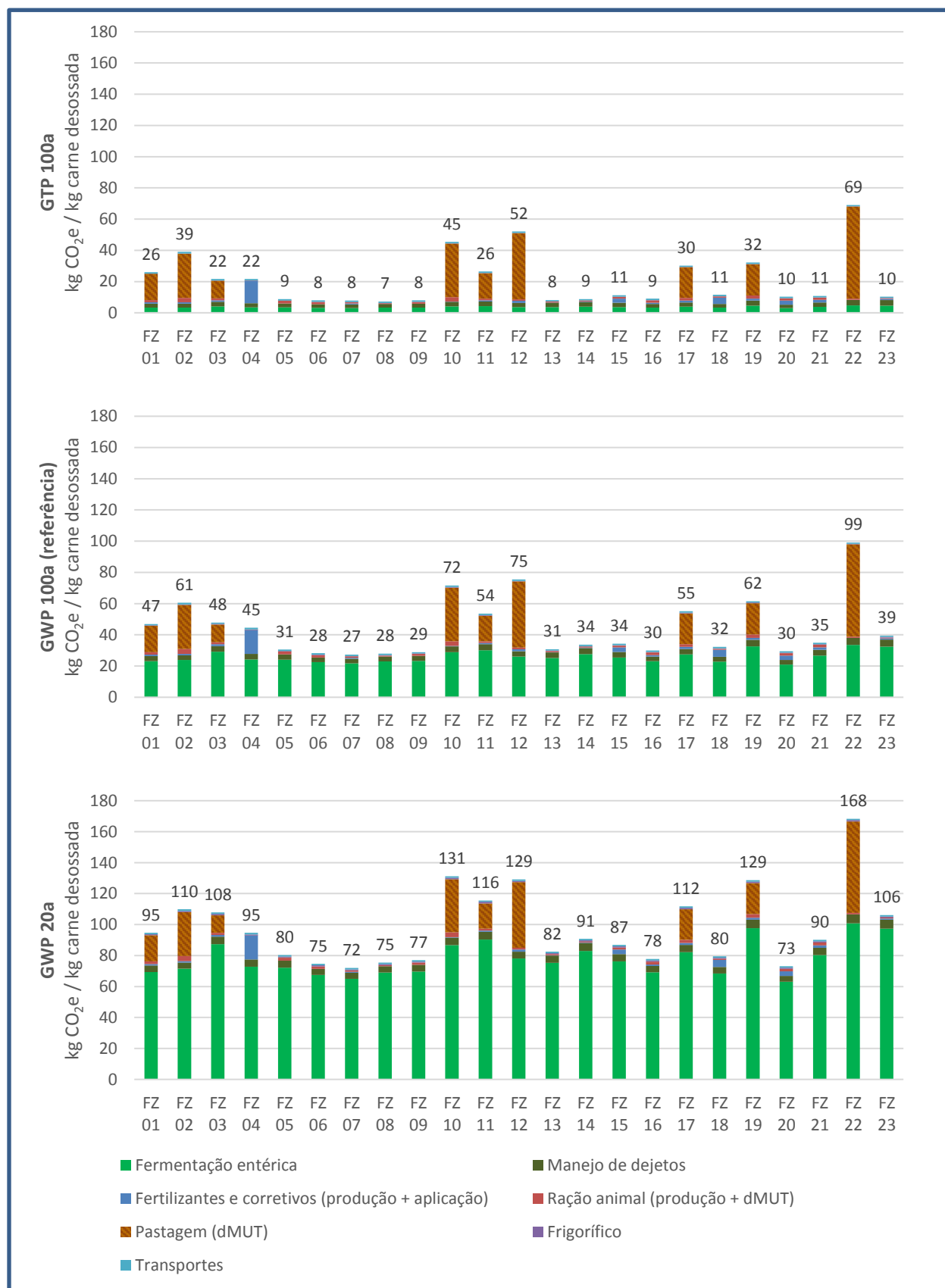
Os impactos e as implicações da escolha da métrica de emissões de GEE no setor pecuário têm sido evidenciadas na literatura científica (CEDERBERG; MEYER; FLYSJÖ, 2009; PERSSON et al., 2015; PICASSO et al., 2014). Destaca-se o fato de que as disparidades entre as métricas vão muito além da contabilidade dos GEE, já que podem alterar o perfil das emissões. Isso dificulta o processo de gestão, na medida que afeta diretamente a identificação dos pontos críticos ao longo do ciclo de vida e, consequentemente, as estratégias e a priorização de ações de mitigação.



Essas influências podem ser observadas na Figura 28. As principais fontes de emissão do cenário de referência (discutidas na seção 5.4), continuam mostrando-se de grande relevância em ambas as novas métricas (sensibilidades). No entanto, a métrica GTP 100a, além de reduzir as emissões globais de GEE, reduz a contribuição das emissões de metano da fermentação entérica e aumenta o impacto da dMUT no total da PC. Já a métrica GWP 20a, atribui maior relevância às emissões de metano e diminui a contribuição da dMUT na PC da carne bovina.



Figura 28: Influência da métrica de contabilização de GEE nas diferentes fontes de emissão



Fonte: elaboração própria



7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este documento consolida os resultados, métodos, análises e conclusões relacionados às emissões de GEE da carne bovina brasileira exportada para a UE, reunindo informações de quase três anos de desenvolvimento do projeto Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira.

Os resultados da PC da carne bovina brasileira exportada para a UE, do berço ao porto europeu, das 23 fazendas estudadas variaram de 27 a 99 kg CO₂e / kg carne desossada. Ao analisar a produção de carne bovina por sistemas de produtos, foram obtidos os seguintes resultados: o sistema de produto A apresentou média de 60 kg CO₂e / kg carne desossada; os sistemas de produto B, C e D apresentaram variações de 28 – 47 kg CO₂e / kg carne desossada; 27 – 61 kg CO₂e / kg carne desossada e 48 – 99 kg CO₂e / kg carne desossada, respectivamente.

Neste projeto foi possível reforçar que a ACV se mostrou uma técnica bastante eficiente para avaliar o impacto climático da produção de carne bovina, sendo uma ferramenta útil para tomadores de decisão em diversos elos dessa cadeia produtiva. A abordagem de produto utilizada na ACV proporciona uma visão ampla das etapas e processos envolvidos na produção de carne bovina, permitindo identificar a origem das emissões de GEE e as correlações entre as diversas variáveis que impactam em sua produção e também nas emissões, como: sistemas de reprodução animal, idade e peso de abate, localização das fazendas, processos de transporte, entre outros. Além dessas variáveis, o estudo possibilitou também relacionar outros aspectos com a PC da carne bovina, como o cenário atual de uso da terra nas diferentes localidades.

Por meio dos resultados da PC, foi possível identificar a fermentação entérica e a mudança direta no uso da terra como as principais fontes de emissão de GEE ao longo da cadeia de valor da pecuária, sendo esses os pontos críticos do produto estudado. Os resultados apresentados nesse trabalho evidenciam que melhorar a eficiência das atividades de cria (reprodução), evitar o desmatamento e promover a recuperação de pastagem são medidas altamente relevantes para reduzir a PC da carne bovina. Cabe destacar que essas recomendações se aplicam à grande maioria dos casos analisados, mas que podem apresentar resultados com maior ou menor grau de redução da pegada.

Além disso, o estudo proporcionou grandes aprendizados no que tange as características do animal ao abate. Ao correlacionar idade e peso de abate com a PC, foi possível notar que a



redução da idade de abate, quando não acompanhada da redução do peso de abate, tem grande potencial para redução das emissões de GEE da pecuária de corte.

No entanto, o estudo demonstrou também que uso da ACV para avaliar o impacto climático da produção de carne bovina tem algumas limitações metodológicas: (i) diferentes métodos de cálculo dificultam a comparação dos resultados; (ii) métricas diferentes (GWP vs. GTP) fornecem resultados diferentes e podem levar a recomendações diferentes; e limitações técnicas que podem ser melhoradas em trabalhos futuros: (i) ampliar o grau de regionalização do método BRLUC para o nível municipal; e (ii) ampliar o grau de representação dos diferentes sistemas de produto estudados, considerando diferentes fatores de emissão de metano e óxido nitroso no cálculo das emissões do rebanho; diferentes rendimentos de carcaça e desossa; diferentes valores econômicos e, consequentemente, diferentes fatores de alocação econômica (por exemplo, a carne exportada via Cota Hilton poderia ter maiores emissões porque seu valor de mercado é maior). Especificamente para o contexto brasileiro, que apresenta uma grande variedade de sistemas de produção de carne bovina, a generalização de resultados de estudos desta natureza deve ser evitada.

Apesar de a PC da carne bovina ser um tema extensamente estudado, o uso de diferentes metodologias e premissas dificultam uma comparação consistente dos dados e dos resultados. Ressalta-se que, atualmente, não existe um método consolidado para cálculo da PC da carne, e a RCP do setor não deixa claro como o sistema de produto deve ser modelado. Conforme já evidenciado ao longo deste relatório, a ausência de métricas claras nas diferentes etapas de um estudo de ACV impacta diretamente nos resultados e, principalmente, nas comparações entre produtos semelhantes.

Diante disso, os autores acreditam que a definição de regras para a contabilização das emissões de GEE da carne bovina deveria ser um item prioritário nas discussões setoriais nacionais e internacionais. Uma das contribuições deste estudo está justamente relacionada a esse fator e consiste na proposta da abordagem metodológica híbrida para o cálculo da pegada de carbono da carne. Por se tratar de um método relativamente simples – que não requer grande quantidade e tratamento de dados – a combinação das abordagens *bottom-up* e *top-down* se mostra como uma alternativa com alto grau de confiabilidade e padronização que facilitará o cálculo da PC.

De modo geral, por meio da quantificação das emissões de GEE de toda a cadeia de valor da pecuária de corte, o presente relatório deixa como legado importantes contribuições para o setor, como: (i) melhor compreensão do perfil de emissões da carne bovina brasileira; (ii) identificação dos pontos críticos e das principais oportunidades para a redução de emissões



de GEE no ciclo de vida da carne, e (iii) auxílio no desenvolvimento de uma metodologia de cálculo sólida, transparente e replicável.

Finalmente, o atual estudo contribui para futuras pesquisas nas áreas técnicas relacionadas à ACV, mudanças climáticas, pecuária de corte e outras correlatas, uma vez que apresenta resultados inéditos e oferece informações de forma transparente que podem auxiliar nas discussões já existentes sobre o tema, em diferentes fóruns. No contexto aplicado, os resultados aqui apresentados podem direcionar esforços de gestão, tanto no campo público quanto privado, pois: (i) demonstram claramente os pontos críticos (fontes de emissão) que precisam ser gerenciados; (ii) trazem resultados inéditos, construídos a partir de muitos dados primários do setor (realismo).



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. **Beef REPORT: Perfil da pecuária no Brasil** Associação Brasileira das indústrias Exportadoras de Carnes Bovinas. ABIEC: São Paulo, 2019a. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/controle/uploads/arquivos/sumario2019portugues.pdf>>.

ABIEC. **Exportações de carne bovina por principais portos: 2017/2018**. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/exportacoes-portos.pdf>>. Acesso em: 11 maio. 2019b.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b.

AMARAL, D. D. DO; CORDEIRO, L. A. M.; GALERANI, P. R. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1266–1274, 2011.

BARBOSA ALVIM, F. et al. **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Ed. IGC/UF ed. Belo Horizonte: 2015.

BOGAERTS, M. et al. Climate change mitigation through intensified pasture management: Estimating greenhouse gas emissions on cattle farms in the Brazilian Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 1539–1550, 2017.

BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. **Unfccc**, v. 9, 2015.

BSI. **PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services** London, 2011.

BUNGENSTAB, D. J. Pecuária de corte brasileira: redução do aquecimento global pela eficiência dos sistemas de produção. 2012.

BURATTI, C. et al. Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 129–137, 2017.

CEDERBERG, C. et al. Including carbon emissions from deforestation in the carbon foot print of Brazilian beef. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 5, p. 1773–1779, 2011.

CEDERBERG, C.; MEYER, D.; FLYSJÖ, A. **Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production**. SIK Report, 2009. Disponível em: <www.sik.se/archive/pdf-filer-katalog/SR792.pdf>.

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.

CEZAR, I. M. et al. **Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate**. Embrapa: Campo Grande - MS, 2015.

CNA. **Pecuária de corte: Intensificação da atividade de cria, da realidade brasileira para a necessidade global**. CNA, 2018. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/ativos_Pecuaria_corte_campo_futuro_setembro.pdf>.

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, p. 15–43, 2015.

DAGEVOS, H.; VOORDOUW, J. Sustainability and meat consumption: Is reduction realistic? **Sustainability: Science, Practice, and Policy**, v. 9, n. 2, p. 60–69, 2013.

DIAS, F. R. T. et al. **Inventário de Ciclo de Vida da Produção de Bovinos de Corte no Brasil**. Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida. **Anais...**Brasília: 2018

DIAZ, H. et al. **Intervalos entre partos: uma simulação do impacto econômico**. 2005. Disponível em: <<https://www.beefpoint.com.br/intervalos-entre-partos-uma-simulacao-do-impacto-economico-24782/>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

DICK, M.; ABREU DA SILVA, M.; DEWES, H. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil e Evaluation using farm-based life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 58–67, 2015a.

DICK, M.; ABREU DA SILVA, M.; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2015b.

DINATO, R. et al. **A influência da escolha dos fatores de caracterização para impactos de aquecimento global e a divisão entre metano biogênico e fóssil**. Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida. **Anais...**Brasília, DF: Ibict, 2018

EPD INTERNATIONAL. **Product Category Rules (PCR): Meat of mammals**. 3. ed. EPD International: Stockholm, Sweden, 2012.

EPD INTERNATIONAL. **GENERAL PROGRAMME INSTRUCTIONS FOR THE INTERNATIONAL EPD® SYSTEM**. EPD International: Stockholm, Sweden, 2017. Disponível em: <www.environdec.com>.

EUROPEAN COMMISSION. **Beef and Veal Market Situation**. 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/market-observatory/meat/beef/doc/market-situation_en.pdf>.

FGVCES. **Ferramenta de estimativa de gases de efeito estufa para fontes intersetoriais**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>>

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.

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. **Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry - Brazil**. Zürich, Switzerland: 2018.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **O que são Regras de Categoria de Produto (PCR)?** Disponível em: <<https://www.epdbrasil.com.br/o-que-sao-pcrs>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

GTPS. **Mapa de Iniciativas da Pecuária Sustentável**. Disponível em: <<http://gtps.org.br/mapa-de-iniciativas/>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/abate/tabelas>>. Acesso em: 14 jun. 2019a.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Produção Agrícola Municipal**.



Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>>. Acesso em: 14 jun. 2019b.

IEPEC. **Como é calculado o rendimento na desossa**. Disponível em: <<https://iepec.com/como-e-calculado-o-rendimento-na-desossa/>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC: Geneva, 2006.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge and New York Cambridge University Press, Geneva, 2013.

ISO. **ISO 14067: Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication**. ISO: Geneva, 2013.

JBS. **Bezerro Hilton: Instruções ao Criador de Bezerros para Cota Hilton**. JBS, 2017.

LYNCH, J. Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 76, n. February, p. 69–78, 2019.

MAPA. **Lista de Propriedades Aptas à Exportação para UE**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://bi.agricultura.gov.br/reports/rwervlet?sisbov_cons&propriedades_aptas.rdf&p_nm_arquivo=propriedades_aptas.rdf&p_cs_aptas=S&foco_campo=&p_usuario=16614&p_flag=1&p_invoker=sisbov.apropriades_aptas_rep&p_serial=44429639¶mform=no>. Acesso em: 14 jun. 2019a.

MAPA. **Listas de Estabelecimentos Nacionais Habilitados à Exportação por País**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/exportacao>>. Acesso em: 14 jun. 2019b.

MCTI. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de referência. Setor Agropecuária. Emissões de Metano por Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos de Animais**. MCTI: Brasília, 2015a.

MCTI. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de referência. Setor Agropecuária. Emissões de Óxido Nitroso de Solos Agrícolas e Manejo de Dejetos**. MCTI: Brasília, 2015b.

MCTI. **3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Volume II**. MCTI: Brasília, 2016a.

MCTI. **3ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Volume III**. MCTI: Brasília, 2016b.

NICACIO, A. C. **Demandas tecnológicas dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil – Reprodução Animal**. Brasília, DF, 2016.

NOVAES, R. M. L. et al. Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3716–3728, 2017.

ORMOND, J. G. P. **Glossário de Termos Usados em Atividades Florestais e Ciências Ambientais**. 3. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2006.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2006.

PELLETIER, N.; PIROG, R.; RASMUSSEN, R. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 6, p. 380–389, 2010.



PERSSON, U. M. et al. Climate metrics and the carbon footprint of livestock products: Where's the beef? **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 3, 2015.

PICASSO, V. D. et al. Sustainability of meat production beyond carbon footprint: A synthesis of case studies from grazing systems in Uruguay. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 346–354, 2014.

PICOLI, J. F. **Perfil ambiental da produção integrada de etanol e pecuária de corte**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2017.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018.

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, n. April, p. 435–443, 2015.

SEA-DISTANCES.ORG. **Ports Distances**. Disponível em: <<https://sea-distances.org/>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento de Execução (UE) n° 593/2013 da comissão de 21 de junho de 2013**. União Europeia: Bruxelas, 2013.

WEIDEMA, B. P.; SCHMIDT, J. H. Avoiding Allocation in Life Cycle Assessment Revisited. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 192–195, mar. 2010.

WERNET, G. et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016.

WRI. **Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard**, 2011.

WRI. **Ferramenta de Cálculo do GHG Protocol Agrícola**, 2019. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/node/602/>>



9. ANEXOS

Anexo 1 – Certificado de análise crítica por especialista externo

Anexo 2 – Exemplo de ficha de coleta de dados enviada às fazendas

Anexo 3 – Exemplo de ficha de coleta de dados enviada às unidades frigoríficas



Anexo 1. Certificado de análise crítica por especialista externo



Declaração da revisão crítica

Ao

Centro de Estudos em Sustentabilidade - FGVces

Prezados senhores,

O projeto "Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira Exportada para a União Europeia: Resultados e premissas para o cálculo das emissões do ciclo de vida do produto" realizado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) e financiado pela Rede de Pesquisa Aplicada da Fundação Getúlio Vargas (FGV), passou por uma revisão de terceira parte independente por 02 (dois) especialistas em Avaliação do Ciclo de Vida da EnCiclo. A revisão crítica teve como base as normas NBR ISO 14040:2009, NBR ISO 14044:2015 e ISO/TS 14071:2014.

O objetivo da revisão foi de assegurar que:

- Os métodos utilizados para conduzir a Pegada de Carbono são consistentes com as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044;
- Os métodos utilizados para conduzir a Pegada de Carbono são científica e tecnicamente válidos;
- Os dados utilizados são apropriados e razoáveis em relação ao objetivo do estudo;
- As interpretações dos resultados e as conclusões refletem as limitações identificadas e o objetivo do estudo;
- O relatório do estudo é transparente e consistente.

O processo de revisão ocorreu no final do projeto, considerando o Relatório Final versão de Outubro de 2019. A revisão crítica foi realizada em duas etapas:

- i. Revisão do relatório de Pegada de Carbono e análise de conformidade quanto as normas supracitadas, no qual a Equipe de Projeto da Pegada de Carbono, a partir dos apontamentos realizados, fez os ajustes necessários, explicações e/ou comentários sobre a aceitação das recomendações;
- ii. Relatório final da revisão crítica (esta declaração de revisão).

A modelagem do inventário do ciclo de vida implementada na plataforma do Excel® e *datasets* individuais criados no estudo não foram revisados. Deste modo, todos os pontos levantados na revisão foram com base unicamente no relatório de Pegada de Carbono.

Tel: +55 11 95694 7217
Cel: +55 48 99144 9245
edivan@enciclo.com.br
guilherme@enciclo.com.br
www.enciclo.com.br



Conclusão da revisão crítica

O projeto de ACV segue as orientações e está consistente e em conformidade com as normas de Avaliação do Ciclo de Vida (NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044). O estudo apresenta uma análise adequada da pegada de carbono do sistema de produto bovinocultura de corte brasileira.

São Paulo, 22 de novembro de 2019

Edivan Cherubini, Dr.
Consultor em sustentabilidade em Avaliação do
Ciclo de Vida
EnCiclo Soluções Sustentáveis Ltda.

Guilherme M. Zanghelini, Dr.
Consultor em sustentabilidade em Avaliação do
Ciclo de Vida
EnCiclo Soluções Sustentáveis Ltda.

Tel: +55 11 95694 7217
Cel: +55 48 99144 9245
edivan@enciclo.com.br
guilherme@enciclo.com.br
www.enciclo.com.br



Título:	Pegada de carbono da carne bovina brasileira exportada para a
Financiador:	Rede de Pesquisa Aplicada da Fundação Getúlio Vargas (FGV)
Equipe de projeto:	Ricardo Dinato Juliana Ferreira Picoli Matheus Fernandes Beatriz Kiss Jessica Chryssafidis
Versão	Relatório Técnico Final
Data:	out/19
Revisor:	Edivan Cherubini Guilherme M. Zanghelini
Outras informações:	Revisão realizada em conformidade com as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006 e ISO/TS 14071:2014.

Tipo de comentário	
ed =	edição
te =	técnico

Tabela 1. Revisão de tópicos gerais e técnicos do relatório e da condução da Avaliação do Ciclo de Vida (ed = edição / te = técnico).

Seção / subseção	Página (Linha)	Parágrafo / Figura / tabela	Tipo do comentário	Recomendação revisor (15/10/2019)	Resposta Equipe ACV (31/10/2019)	Recomendação revisor (07/11/2019)	Resposta Equipe ACV (21.11.19)	Conclusão revisor (22.11.19)
		Lista de abreviaturas	ed	Incluir na lista as abreviações: ABNT, NBR, ISO, MAPA, EUA, GTPS, KCI, SSP, GLP, FG, FZ, TSP, NPK, DDG, PGP, PCP, BR, AR, RoW, MT, MG, IP, FC, CO2e	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



2	-	Comentário geral	te	<p>É preciso descrever com maiores detalhes os sistemas de produto (cenários) A, B, C e D, pois a partir do conteúdo do relatório não é possível entender quais são as diferenças principais em termos de sistema produtivo (ex. extensivo e intensivo), estratégias de alimentação animal (ex. animais cota Hilton), índices de desempenho zootécnico (taxa de reposição, mortalidade, ingestão de alimentos (conversão alimentar) etc.), práticas sustentáveis (quais?) do sistema de produto D, entre outros elementos que permitem caracterizar efetivamente cada sistema de produto.</p>	<p>Alteração realizada</p> <p>Dado a diversidade de sistemas produtivos no Brasil, é difícil generalizar. Mas tentamos detalhar melhor os sistemas de produto estudados.</p>	<p>a. O texto incluído auxilia na compreensão do que é cada sistema, porém não permite entender as diferenças na qualidade final do produto (características da qualidade de cada carne, como por exemplo a porcentagem do marmoreio) e características técnicas de cada sistema de produção (por exemplo índices de desempenho zootécnico). A ausência dessas informações dificulta a compreensão dos comportamentos dos resultados. Por exemplo, não é possível inferir como o sistema de produção para animais com alta porcentagem de marmoreio influencia na disposição dos animais em termos de ocupação por área, ou em termos de alimentação animal. Esses fatores ajudam a compreender as diferenças de cada sistema e justificar diferenças no perfil ambiental (mas também a compreender os sistemas de produto e possíveis trade-offs).</p> <p>b. No sistema B os animais devem ser abatidos com até 30 meses, porém na FZ04 são abatidos com 36 e na FZ13 com 34. Justificar estas condições, por favor.</p> <p>c. Na descrição do sistema B é citado que a demanda do mercado internacional está nos animais com alta taxa de carne na carcaça. Porém, o rendimento de carcaça foi definido como idêntico para todos os sistemas. Deste modo, não é possível definir o perfil desse sistema em relação aos demais, uma vez que ele poderia ter um rendimento maior. Essa constatação deve ser acrescentada como uma limitação do estudo nas conclusões e condicionante nos resultados.</p> <p>d. Definir qual o entendimento dos autores com relação ao período de abate de novilhos precoce (cota Hilton). De acordo com alguns manuais, o período seria de até 30 meses, o que excluiria algumas fazendas (acima de 30 meses). Por outro lado, a cartilha da JBS indica que o período pode ser de até 36 meses, o que faria com que a FZ23 não pudesse ser classificada nesse sistema. Aqui é necessário um esclarecimento quanto à definição e justificativas quanto à exclusão e/ou inclusão de fazendas que não compreendam o período especificado.</p>	<p>a. Questões relacionadas à qualidade da carne e os índices de desempenho zootécnicos não foram tratadas no relatório e não foram determinantes para a definição dos sistemas de produto. Tanto que essas questões não foi possível discutir esses aspectos nos resultados. Inserido comentários nas seções 2.2 (página 20, 2º parágrafo); 3.1 (página 30, 4º parágrafo) e 5.4 (página 102, 1º parágrafo).</p> <p>b. Não há uma restrição quanto a idade de abate dos animais do sistema de produto B, apesar dessa ser uma característica comum. Foi alterado o texto para "A demanda do mercado internacional está principalmente nas carcaças de animais com até 30 meses de idade, machos castrados e alta porcentagem de marmoreio (acúmulo de gordura intramuscular)" - página 22, 2º parágrafo.</p> <p>c. Alterado o texto. Na verdade o alto rendimento de carcaça não é uma exigência do mercado europeu, mas provavelmente, uma consequência do sistema de produção voltado à exportação. De todo modo, foi inserido texto nas conclusões (pag 119, 1º parágrafo).</p> <p>d. A validação dos sistemas de produto (atendimento às exigências internacionais e mais especificamente à Cota Hilton) não fez parte do escopo do estudo. Foi solicitado aos frigoríficos que indicassem fazendas que se enquadrassem nos sistemas de produto B, C ou D. Além disso, trabalhamos com a idade média de abate que, possivelmente, inclui as fêmeas descartadas (além dos machos criados para o abate).</p> <p>Nesta linha, acrescentamos um parágrafo</p>	Justificado
4	-	Comentário geral	te	<p>Analisando o relatório e as abordagens utilizadas, a abordagem Top-down tem um caráter de sensibilidade da maneira pela qual a equipe definiu para realizar a modelagem. Deste modo, considerar a viabilidade e possibilidade de deslocar a descrição da metodologia Top-down e os resultados da subseção 5.1 como uma análise de sensibilidade do capítulo 6.</p>	<p>Nós pensamos em fazer isso, mas queremos dar uma ênfase maior nesta discussão metodológica, pois achamos muito relevante para este trabalho.</p> <p>Além disso, o modelo híbrido proposto pelo estudo precisa de algumas informações calculadas pela abordagem top-down.</p>	Justificado	-	Justificado
4	-	Comentário geral	te	<p>Citar claramente em qual plataforma foi realizada a modelagem da pegada de carbono (Excel® ou SimaPro®).</p>	Alteração realizada	Atendido (pág. 47)	-	Atendido (pág. 47)
1.2	12	2º parágrafo	ed	<p>Deletar o mais da frase "[...] a denominação mais correta para tal avaliação é Pegada de Carbono (PC)"</p>	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



1.2	12	4º parágrafo	ed	Corrigir a citação das normas 14040:2009 e 14044:2009	Alteração realizada	Corrigir a citação das normas para "ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2014a, 2014b)", caso a versão da norma usada foi a corrigida em 2014. Caso seja a versão original corrigir para "ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009a, 2009b)"	Alteração realizada	Atendido
1.2	12	5º parágrafo	ed	Corrigir a abreviação RPC para RCP. (última linha da página)	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
1.2.2	13	2º parágrafo	ed	Corrigir a frase "[...] conforme descrito abaixo:" para "[...] conforme descrito a seguir:", pois o conteúdo está na página seguinte e não abaixo.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
2.1	15	-	te	Citar que o estudo não estimou fatores de emissão específicos para fermentação entérica de acordo com o tipo de alimentação de cada rebanho (ex. ingestão de energia bruta) e para a quantidade de N ingerido pelos animais que influencia na quantidade de N excretado. Essas são premissas relevantes, principalmente quanto a fermentação entérica levando em conta a importância dessas emissões na pegada de carbono bovina. Citar que as emissões dos machos reprodutores também não são considerados na abordagem híbrida.	Nós acreditamos que estes foram aspectos bem específicos do estudo e mencioná-los aqui deixaria o leitor confuso. Neste capítulo não mencionamos detalhes metodológicos como a abordagem híbrida ou como as emissões de metano foram calculadas. Sobre a alimentação animal, pensamos em incluir texto na seção 3.1.6 (pg. 38) e na seção 4.2.1. (pg. 59-60). Sobre os machos reprodutores, citamos na seção 4.1.2 (pg. 59). O que vocês acham?	Atendido	-	Atendido
2.2	20	1º parágrafo	ed	Colocar um espaço em "AFigura 4 [...]"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
2.2.2	22	Tabela 3	ed	Corrigir referência da Tabela. Está faltando a indicação se é 2019a ou 2019b.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
2.2.2	22	2º parágrafo	ed	Corrigir referência. Está faltando a indicação se é 2019a ou 2019b.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
2.2.2	22	Tabela 4	ed	Corrigir referência da Tabela. Está faltando a indicação se é 2019a ou 2019b.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
2.4	25	2º parágrafo	te	Na descrição das fronteiras do sistema, descrever que foram considerados a produção e cultivo de grãos da ração animal.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



2.5	26	-	te	Com relação as emissões da progenitora, foi aplicado algum critério de alocação para a carne bovina gerada por esse animal? Detalhar como esse elemento foi considerado. De modo geral, como os impactos dos touros e vacas com idades avançadas são considerados? Por serem carne também para abate no final de sua vida útil não é necessário alocar e esse impacto desses animais com baixo rendimento (carne gerada x insumos) é agregado à unidade declarada? Sobre a aplicação de dejetos na área de pastagem, muitos estudos consideram o dejeito animal como um adubo orgânico que evita as emissões da produção de fertilizante químicos. Embora para a produção de bovinos o dejeito seja usado como fertilizante dentro do próprio sistema, não necessitando alocar impactos para esse subproduto (tendo em vista que ele já possui efeito direto na redução de uso de fertilizantes), esse elemento deve ser claramente citado no texto.	Alteração realizada Incluído comentário sobre a aplicação de dejetos nas pastagens. Na abordagem top-down, as emissões de todo o rebanho foram consideradas (machos (boi/touro), fêmeas e jovens), além disso não se fez distinção da carne de machos, touros ou vacas e portanto, não foi necessária alocação. Na abordagem bottom-up, acrescentamos um parágrafo na seção 4.1.2 explicando sobre as emissões dos animais reprodutores descartados. Caso não tenha ficado claro, podemos discutir melhor presencialmente ou por telefone.	Solicitação atendida quanto aos dejetos na pastagem. Favor incluir na seção 2.5, o texto "Na abordagem top-down não se fez distinção da carne de machos, touros ou vacas e portanto, não foi necessária alocação." para clarificar que não há diferenciação entre carne de animais reprodutores e por isso não há necessidade de alocação.	Alteração realizada	Atendido
3.1.1	30	Último parágrafo	ed	Corrigir a referência cruzada. O texto quebra logo após "Tabela 9 e na" e o restante do texto continua somente na metade da página seguinte.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.1.3	35	-	ed	Dessa página até a 41 está faltando numeração de página no documento	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.2	40	Figura 9	ed	Tirar o negrito de "elaboração própria"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.2.1	40	Último parágrafo	ed	Corrigir "unidades frigoríficas" para "unidades frioríficas"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3	44	Figura 10	ed	Colocar o "Fonte:" em negrito.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3	45	Tabela 18	ed	Colocar as palavras "default" e "market for" em itálico	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
	45	Tabela 18	ed	Tirar o negrito de "elaboração própria"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3.2	46	1º parágrafo	ed	Tirar o itálico do ecoinvent. (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3.4	46	3º parágrafo	ed	Tirar o itálico do ecoinvent. (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3.5	46	5º parágrafo	ed	Tirar o itálico de "in natura"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3.5	46	Último parágrafo	ed	Tirar o itálico de "in natura"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
3.3.5	47	1º parágrafo	te	A média ponderada da massa transportada pela distância não daria uma melhor estimativa dos impactos por tkm do que a média aritmética? Mudaria muito o valor de 1.256 km?	Não temos os dados para calcular a média ponderada.	Justificado	-	Justificado
3.3.5	47	2º parágrafo	ed	Corrigir referência de Cederberg et al. Está faltando a indicação se é 2009a ou 2009b.	Alteração realizada. A referência estava duplicada.	Atendido	-	Atendido
4.4.1	49	2º parágrafo	ed	Deletar palavras repetidas e inserir vírgula e espaço entre as citações da Tabela 10, 11 e 12 na frase "apresentados nas Tabelas Tabela 10Tabela 11Tabela 12"	4.1.1 Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.4.1	51	Tabela 20	ed	Tirar o negrito de "elaboração própria"	4.1.1 Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.4.1	52	4º parágrafo	ed	Corrigir a palavra "interpretação"	4.1.1 Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



4.4.1	54	Tabela 21	ed	Considerar a possibilidade de alterar o termo "não sei" para "desconhecido" ou "sem informação/estimativa" já que essas fazendas não forneceram dados	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.1.2	59	Figura 12	ed	Tirar o negrito de "EPD INTERNATIONAL (2012)"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.1	62	Equação 6	ed/te	Na Equação 6, não deveria ser usado o $\frac{N_{\text{rebanho}}}{FE_{\text{fmeas}}}$ como dividendo para obter o quociente para a multiplicação com o FE_{fmeas} ?	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.1	62	Equação 8	ed	Deletar referência repetida à Tabela 23: "o número de animais na categorial animal i que fazem parte do rebanho no ano analisado (Tabela 23Tabela 23);"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.3	65	Equação 14	ed	Corrigir unidade para kg N2O / animal: "utilizando-se a modelagem bottom-up, em kg CH4 / animal"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.3	66	Equação 16	ed	Tirar o negrito de "Tempo _g "	Colocamos em negrito todas as variáveis do documento.	Atendido	-	Atendido
4.2.3	67	Equação 19 e 20	ed	Corrigir unidade para kg N2O / animal: "utilizando-se a modelagem bottom-up, em kg CH4 / animal"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.5	71	Equação 23	ed/te	Explicar o que são os valores (0.01, 0.3 e 0.025) da Equação. Representam a quantidade de N lixiviado e a emissão de N2O a partir do N lixiviado?	Equação derivada das equações de emissões do MCTI.	Atendido	-	Atendido
4.2.6	74	Equação 27	ed	Talvez fique mais coerente citar que os fatores de emissão (FE) foram obtidos "(a partir dos datasets da Tabela 30)" ao invés de citar a "(Tabela 30)", uma vez que nessa tabela não são citados valores de CO2 eq. por kg de insumo.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.6	75	Equação 29	ed	Tirar o itálico de "in natura"	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.6	75	Tabela 31 e 32	ed	Descrever o que significa "n/a". Caso palma não seja considerado no sistema de produto (n/a = não aplicável) tirar a informação das Tabelas.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.6	74	-	te	Citar explicitamente que os datasets do ecoinvent® utilizados para representar os impactos da produção de grãos foram adaptados para considerar os fatores de dMUT de Novaes et al.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.2.6	76	-	te	Citar o dataset utilizado para representar os dados da produção dos animais comprados.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
4.3	77	1º parágrafo	ed	Tirar o itálico do ecoinvent. (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



4.3	77	1º parágrafo	ed	<p>Revisar texto "Os inventários da produção desses processos correspondem aos disponíveis no banco de dados ecoinvent v3.5 (WERNET et al., 2016) e incluem as emissões da etapa de transporte T4 (transporte de animais das fazendas até o frigorífico)." Está confusa a compreensão se ao citar os "inventários da produção desses processos" é feita referência aos frigoríficos ou se está relacionado aos inventários dos inputs em si. Neste último caso, faltaria citar o dataset de transporte na Tabela 33. No primeiro caso, revisar texto, pois os datasets do ecoinvent apenas representam a carga ambiental dos inputs e não as quantidades consumidas de cada input para a construção do ICV de cada frigorífico.</p>	<p>Alteração realizada. Na verdade estão incluídas as emissões do transporte T5 (transporte dos inputs para o frigorífico). Consideramos os valores default dos datasets market for do ecoinvent.</p>	Atendido	-	Atendido
4.3	77	Equação 31	ed	<p>Talvez fique mais coerente citar que os fatores de emissão (FE) foram obtidos "(a partir dos datasets da Tabela 33)" ao invés de citar a "(Tabela 33)", uma vez que nessa tabela não são citados valores de CO2 eq. por kg de insumo.</p>	<p>Alteração realizada</p>	Atendido	-	Atendido
4.4	77	Último parágrafo	ed	<p>Tirar o itálico do ecoinvent, (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)</p>	<p>Alteração realizada</p>	Atendido	-	Atendido
4.4	78	Equação 32	te	<p>Na descrição da fórmula o $FE_{transporte}$ deve ser em kg.km e não L.km, pois os dados de entrada de animal transportado é descrito em kg. Ou, na fórmula os dados de entrada de animais precisam ser divididos por 1000 (conversão kg para t). Nos cálculos essa conversão foi levada em consideração?</p>	<p>Alteração realizada Sim, a conversão das unidades de medida foi feita corretamente nos cálculos.</p>	Atendido	-	Atendido
4.2.6 / 4.3 / 4.4 / 4.5	72 - 78	-	geral	<p>Não está claro se as informações dos processos background do ecoinvent® foram utilizados em nível de ICV para estimar as emissões ou já caracterizados a partir dos cálculos do SimaPro®. Nas Equações 27, 30 e 31 os FE são descritos como "fator de emissão do GEE por quilograma de insumo" ou "peso vivo", que leva a entender que os resultados foram retirados do SimaPro® já caracterizados. Enquanto que na Equação 32 o FE é descrito como "fator de emissão, por gás, do meio de transporte [...]" que leva a compreensão que para o transporte somente os dados do dataset foram retirados do SimaPro® e posteriormente calculados/caracterizados, embora a unidade do FE seja citada como kg de GEE/t.km.</p>	<p>Alteração realizada Alterado equações 27,30 e 31 para "fator de emissão, por gás, ..." Definido os gases de GEE considerados no estudo na seção 2.6 (3º parágrafo). Todas as informações dos processos background do ecoinvent® foram retiradas como ICV, por gás, para posterior caracterização na ferramenta de cálculo (excel).</p>	Atendido	-	Atendido
5	79	1º parágrafo	ed	<p>Corrigir citações às fronteiras do sistema para do "berço ao porto".</p>	<p>Alteração realizada</p>	Atendido	-	Atendido
5.1	84	5º parágrafo	ed	<p>Tirar o itálico do ecoinvent, (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)</p>	<p>Alteração realizada</p>	Atendido	-	Atendido
5.2	87	3º parágrafo	ed	<p>Corrigir referência cruzada, frase ficou 'quebrada' em duas linhas, além de ter trazido texto errado para referência a Tabela 38 e Figura 15: "A Tabela 38 e a Fonte: elaboração própria Figura 15 apresentam o perfil das emissões das unidades [...]"</p>	<p>Alteração realizada</p>	Atendido	-	Atendido



5.2	88	Figura 15	te	Os resultados deveriam ser apresentados por unidade declarada. Existe alguma justificativa para alterar a unidade de referência usada para apresentar a pegada de carbono?	Alteração realizada Sim. Apesar dos rendimentos de carcaça e desossa serem constantes, o peso de abate do animal varia de fazenda para fazenda. E não sabemos em qual frigorífico cada fazenda abateu o seu animal. Incluímos uma figura com os resultados por UD por fazenda.	Atendido	-	Atendido
5.2	88	2º parágrafo	ed	Após a frase "[...] representando entre 0,4% e 1,3% da pegada total." citar a Figura 17 que traz elementos adicionais para a compreensão dessa participação nos impactos. Pelos dados apresentados até essa parte do relatório o leitor não tem como entender essa baixa contribuição	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
5.3	88	Último parágrafo	ed	Incluir o "de" no trecho "[...] atividades logística e [...]".	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
5.3	89	1º parágrafo	ed	Tirar o itálico do ecoinvent. (ou colocar todas as demais citações ao ecoinvent como itálico)	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
5.3	89	2º parágrafo	ed/te	Não está claro do porque as emissões relacionadas ao T3 não é contabilizada na abordagem híbrida ou bottom-up. Para fazendas de engorda o animal precisou ser adquirido com idade jovem e ser transportado até a fazenda.	Alteração realizada Não temos essa informação (quantas fazendas cada animal passou antes da fazenda analisada). Inserimos um comentário nessa seção (3º capítulo).	Atendido (justificativa adicionada no 3º parágrafo)	-	Atendido (justificativa adicionada no 3º parágrafo)
5.3	89	3º parágrafo	ed/te	É citado que as emissões relacionadas ao T3 foram contabilizadas a partir de valores default.	Alteração realizada	Atendido (justificativa adicionada no 3º parágrafo)	-	Atendido (justificativa adicionada no 3º parágrafo)
5.3	90	Tabela 40	te	Qual a massa considerada para o cálculo de T4? Por exemplo, foi a massa média de todas as fazendas? Os rendimentos de carcaça e desossa foram os mesmos, porém os pesos finais de animais vivos mandados para abate variam de fazenda para fazenda. Descrever no relatório qual o valor considerado de massa transportada.	Alteração realizada Nós consideramos o transporte equivalente a 1 kg de carne desossada, considerando os rendimentos fixos de carcaça e desossa.	Atendido	-	Atendido
5.4	91	3º parágrafo	ed	Corrigir texto, alterar "mostrar" por "mostrou".	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



5.4	91	5º parágrafo	te	<p>O que está incluído na categoria "Fazenda outros" da Figura 17, esse é um processo na qual a FZ04 também apresenta emissões altas. Esclarecer mais as discrepâncias da Fazenda 04, a emissão desse outros dessa fazenda também é significativa provavelmente pela emissão de CO2 do maior uso de calcário por kg de carne desossada. Estimando o consumo de calcário por kg de carne desossada da FZ04 são consumidos 0.018 kg de calcário por kg de carne, valores bem superiores às FZ18 (0.0039) e FZ20 (0.0034), que apresentam também impactos relevantes dos processos de fertilizantes e corretivos e "Fazendas outros". Propriedades com menores participações dos impactos vindo desses mesmos processos têm um consumo na casa E-04 (ex. 0.0002 (FZ13) e 0.0005 (FZ14)). Coincidentemente a FZ04 quase não consumiu ração animal, o que implica que seja uma propriedade dependente da alimentação por pastagem, o que até certo ponto poderia explicar os maiores usos de fertilizantes e corretivos em relação as demais fazendas.</p>	<p>Alteração realizada</p> <p>"Fazenda outros" representa as emissões da aplicação de fertilizantes e corretivos. Alterado legenda para "Fazenda (aplicação de fertilizantes e corretivos)". Inserido breve texto no 5º parágrafo comentando sobre essas emissões.</p>	<p>Corrigir a palavra "simular" para "similar" no novo trecho adicionado. Não estão aparecendo todas as fazendas no rótulo do eixo y da Figura 18 (gráfico inferior).</p>	<p>Alteração realizada</p>	<p>Atendido</p>
5.4	94	1º parágrafo	ed	<p>Corrigir a abreviatura em língua inglesa "EU" para a portuguesa "UE".</p>	<p>Alteração realizada</p>	<p>Atendido</p>	<p>-</p>	<p>Atendido</p>
5.4	95	1º parágrafo	ed	<p>Embora as emissões de dMUT não sejam aplicáveis a todas as fazendas, ao colocar a descrição das emissões por ordem de relevância parece incoerente posicionar esse aspecto ambiental com relevância menor que as emissões de CH4 biogênico, uma vez que a dMUT possui emissões de até 59 kg CO2e, enquanto as emissões de CH4 biogênica é de até 34 kg CO2e. Considerar rever a ordem ou esclarecer ao que o termo "relevância" se refere.</p>	<p>Alteração realizada</p> <p>Retirado o termo "em ordem de relevância". E incluído o texto "...e, inclusive, superar as emissões da fermentação entérica." no 3º parágrafo.</p>	<p>Atendido</p>	<p>-</p>	<p>Atendido</p>
5.4	96	Tabela 41	ed	<p>Os resultados por fazenda estão invertidos. Exemplo, os resultados da PC da FZ 01 estão na linha da FZ 23, da FZ 02 na linha da FZ 22, e assim por diante.</p>	<p>Alteração realizada</p>	<p>Atendido</p>	<p>-</p>	<p>Atendido</p>
5.4	96	Último parágrafo	ed/te	<p>Nesse parágrafo é concluído que as emissões da ração animal não se mostraram relevantes, porém na página 91, a ração é citada como relevante para as emissões. Rever textos.</p>	<p>Alteração realizada</p> <p>Alterado texto da página 91 e 95.</p>	<p>Atendido</p>	<p>-</p>	<p>Atendido</p>
5.4	97	-	ed	<p>Considerar a possibilidade de incluir a discussão dessa página como um novo subitem (ex. 5.5 Perfil ambiental por tipos de sistemas de produto)</p>	<p>Quando começamos o estudo, acreditávamos que haveria maiores diferenças entre os sistemas de produto. Porém ao longo do estudo descobrimos outros aspectos mais interessantes e optamos por não dar tanta ênfase nessa discussão.</p> <p>OBS: alteramos a Figura 20 e o texto logo após a figura.</p>	<p>Justificado. Faltando legenda (tag das emissões dMUT) na Figura 20.</p>	<p>Alteração realizada</p>	<p>Atendido</p>
5.4	98	1º parágrafo	ed	<p>Corrigir a abreviatura em língua inglesa "EU" para a portuguesa "UE".</p>	<p>Alteração realizada</p>	<p>Atendido</p>	<p>-</p>	<p>Atendido</p>



5.4	98	2º parágrafo	te	É mencionado no texto que "no entanto, as emissões do uso da terra não foram consideradas no cálculo da PC.", porém foram contabilizadas dMUT, esclarecer melhor essa frase. O que não foi considerado para contabilizar potenciais ganhos de programas de recuperação de pastagens? Estoque de carbono e nutrientes no solo?	Alteração realizada Deixamos os termos mais claros no Capítulo 2 - 3º parágrafo. Além disso, fizemos alterações na seção 4.2.4, 5.4 e 6.1.1.	Atendido	-	Atendido
5.5.1	99	Figura 20	te	Uma tabela com o número de crias de cada animal seria útil para auxiliar na compreensão desse gráfico. Qual o número de crias consideradas? Pois caso tenha sido 4, pegando a FZ 22 como exemplo, o impacto da produção da vaca seria de ~157 kgCO ₂ e/animal vivo.	Não temos os dados para calcular o número de crias por fazenda. Este dado não é utilizado para os cálculos e portanto, achamos melhor não colocar para não confundir o leitor.	"Uma correção sobre o nosso questionamento, quando colocamos "crias" estávamos nos referindo a "quantidade de partos" durante a vida útil da progenitora. Levando em conta a correção do termo usado anteriormente, o número de partos não influencia no cálculo pela abordagem usada (híbrida)? Caso fosse usada uma abordagem bottom-up o número de partos poderia ter uma influência na contribuição da progenitora?	Não, não interfere. Como pode ser observado na Figura 12, o que a modelagem bottom-up e híbrida levam em consideração é o intervalo entre partos. Ou seja, como estamos olhando para um único animal, não importa quantas crias ou quantos partos a progenitora gerou, apenas aquele em específico, contabilizado por meio do intervalo entre partos.	Atendido
5.5.2	102	3º parágrafo	ed	Colocar a citação "(Bungenstab, 2012)" toda em maiúscula.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
5.5.2	102	4º parágrafo	ed	Colocar a citação "(Barbosa Alvim et al., 2015; Bungenstab, 2012)" toda em maiúscula.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
5.5.2	102	4º parágrafo	te	Embora as emissões de novilhos precoces e superprecoces possam gerar maiores emissões de GEE devido ao menor peso de abate, ainda existem outros dois parâmetros que influenciam essa PC. O rendimento de carcaça e desossa, que não foi considerado nessa análise. Talvez tais novilhos apresentem melhores índices de rendimento o que poderia compensar o menor peso de abate em termos de emissões de GEE. Desse modo, recomendo que seja adicionado um comentário discorrendo sobre os rendimentos nesse caso para evitar conclusões precipitadas ou incluir alguma referência que aponte para o mesmo caminho das conclusões do presente estudo.	Alteração realizada Foi adicionado o comentário "De forma simplificada considerou-se que o rendimento de carcaça e desossa permanece constante, independentemente da idade de abate, o que é uma limitação do estudo."	Atendido	-	Atendido
5.5.3	103	2º e 3º parágrafo	te	Além da taxa de ocupação, os resultados da Figura 23 são influenciados pelos impactos das diferentes dMUT entre os estados de MT e MG. Desse modo, fica difícil analisar até que ponto a taxa de ocupação está influenciando nos resultados, pois as fazendas com taxas de ocupação superior a 4 podem estar localizadas no estado de MG que possui impactos bem inferiores de dMUT. Recomendo realizar algum comentário sobre esse assunto, e/ou identificar na Figura 23 quais fazendas estão localizadas no MT e quais em MG.	Alteração realizada Adicionado legenda na Figura 23 e inserido comentário.	Atendido	-	Atendido
6.1.1	105-106	Último parágrafo	ed	Corrigir referência cruzada, frase ficou 'quebrada' em duas linhas, além de ter trazido texto errado para referência a Tabela 44: "[...] são apresentados na Fonte: NOVAES et al. (2017) Tabela 44."	Alteração realizada	Conferir documento, frase continua 'quebrada' em duas linhas, além de ter trazido texto errado para referência a Tabela 44: "[...] são apresentados na Fonte: NOVAES et al. (2017) Tabela 44."	Alteração realizada	Atendido
6.1.1	107	1º parágrafo	ed	Corrigir referência cruzada, frase ficou 'quebrada' em duas linhas, além de ter trazido texto errado para referência a Figura 24: "[...] observados na Tabela 46 e na Fonte: elaboração própria Figura 24."	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



6.1.1	108	1º parágrafo	ed	Corrigir referência cruzada, frase ficou 'quebrada' em duas linhas, além de ter trazido texto errado para referência a Figura 24: "A Fonte: elaboração própria Figura 24 ilustra como as variações [...]".	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
6.1.1	108	Último parágrafo	te	É citado que os resultados do estudo demonstram que o período de amortização das emissões/estoque de carbono (juntamente com outros elementos) são determinantes para as variações da PC. O período de amortização, de fato possui influência, mas os resultados da análise não demonstram isso, uma vez que o período de amortização foi uma constante na análise. Recomendo tirar a afirmação sobre o período de amortização ou trazer elementos do trabalho da Cederberg que varia o período de amortização ou variar na análise de sensibilidade esse parâmetro.	Alteração realizada Retiramos esta afirmação.	Atendido	-	Atendido
6.1.1	109	2º parágrafo	ed	Colocar a citação "(Amaral; Cordeiro; Galerani, 2011)" toda em maiúscula.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
6.1.1	109	2º parágrafo	te	No trecho "É importante destacar que esse cenário não alterou outras variáveis que muito provavelmente seriam modificadas à medida em que o pasto fosse melhorado, como o aumento da taxa de ocupação e o aumento do consumo de fertilizantes e corretivos." é importante mencionar que esse cenário é hipotético, pois em nenhum momento do relatório é citado que 100% das áreas de pastagem das fazendas analisadas são severamente degradadas como definido na premissa da análise.	Alteração realizada Nesse trecho é importante destacar que é um cenário hipotético não somente por não terem sido alterados os consumos de outros insumos, mas no fato que essa análise de cenário implica no pressuposto que todas as fazendas estão operando em pastagens degradadas.		Alteração realizada	Atendido
6.2.1	113	2º parágrafo	ed	Corrigir referência de MCTI. Está faltando a indicação se é 2015a ou 2015b.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
6	105	2º parágrafo	ed/te	Retirar a citação ao "método de alocação" como exemplo de escolhas metodológicas avaliados por análises de sensibilidade, uma vez que não foram realizadas análises de sensibilidade na alocação.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
6	105	-	te	Caso seja possível em termos de disponibilidade de dados, uma análise de sensibilidade deveria ser conduzida na abordagem de alocação considerando diferenças nos valores econômicos de cada tipo de carne, por exemplo, a carne via cota Hilton possui mesmo valor que as demais?	Infelizmente, esses dados são bastante sensíveis para os frigoríficos e não temos acesso. Justificado. Incluir nas conclusões do relatório que essa é uma limitação do estudo, pois pela alocação econômica a carne via cota Hilton, por exemplo, poderia ter maiores impactos atribuídos a ela.		Alteração realizada. Incluído trecho "(ii) ampliar o grau de representação dos diferentes sistemas de produto estudados, considerando diferentes fatores de emissão de metano e óxido nítrico no cálculo das emissões do rebanho; diferentes rendimentos de carcaça e desossa; diferentes valores econômicos e, consequentemente, diferentes fatores de alocação econômica;" - página 119 (primeiro parágrafo)	Atendido



7	115	2º parágrafo	ed/te	No trecho "[...] sistemas de reprodução animal, tipo de alimentação, idade e peso de abate, localização das fazendas, processos de transporte, grau de eficiência dos processos industriais, entre outros," suprimir as menções ao "tipo de alimentação" e "grau de eficiência dos processos industriais", pois essas variáveis não foram exploradas em detalhe no presente relatório para maiores correlações que o tipo de alimentação e/ou o grau de eficiência teria na PC.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
7	115	2º parágrafo	ed/te	No trecho "[...] como é o caso do histórico da região da fazenda [...]" suprimir a menção ao "histórico da fazenda", pois foi assumido a dMUT por estado e o histórico da localidade não foi levado em consideração.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
7	115	3º parágrafo	ed/te	No trecho "[...] melhorar a eficiência das atividades de cria (reprodução), recria e engorda, evitar o desmatamento [...]" suprimir a menção ao "recria e engorda", pois não foram avaliados parâmetros e/ou estratégias dessa etapa da criação para sustentar o quão relevantes as estratégias seriam para reduzir a PC.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
7	-	-	te	Considerando que o relatório possui como objetivo quantificar a pegada de carbono da carne bovina brasileira, recomenda-se que a conclusão traga um posicionamento do relatório sobre o valor quantificado para endereçar o atendimento a esse objetivo, na forma de uma média, ou preferencialmente um range por sistema de produto. Além disso, citar o uso de mesmos fatores de emissão de fermentação entérica para todas os sistemas de produto como uma limitação.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido
8	117	-	ed	Conferir referências de modo geral, todos os trabalhos citados estão na lista, porém faltam as datas de publicação de algumas das referências da lista (por exemplo, os trabalhos do MCTI), além disso o trabalho citado como Brasil (2015) é colocado na referência como República Federativa do Brasil, harmonizar a citação.	Alteração realizada	Atendido	-	Atendido



Tabela 2. Revisão de conformidade do relatório de acordo com os requisitos das normas NBR ISO 14040 e 14044.

Norma		Relatório ACV									
Seção / subseção	Atendimento aos requisitos e princípios definidos pelas normas ABNT NBR 14040:2009 e 14044:2009	Seção/ subseção	Página	Comentários revisor (15/10/2019)	Conclusão revisor	Resposta Equipe ACV (31/10/2019)	Comentários revisor (07/10/2019)	Resposta Equipe ACV (21.11.19)	Conclusão revisor (07/11/2019)	Comentários revisor (22.11.19)	Conclusão revisor (final)
4.2	Definição de objetivo e escopo (NBR ISO 14044 item 4.2)										
4.2.1	Considerações gerais	-	-	Vide item 4.2.2	Pendente				Pendente		
4.2.2	Objetivo do estudo	2. / 1.2.3	15 / 14	Objetivo claramente descrito Público-alvo claramente descrito Razões e aplicação pretendida precisam ser claramente descritas na seção de Definição de objetivo e escopo	Pendente	Razões e aplicação pretendida estão descritas na seção 1.2, 3º parágrafo. Você acha necessário repetir isso no capítulo 2?	Não é necessário repetir o texto. Incluir os termos "razões" e "aplicações" para fazer clara referência com os requisitos da norma	Alteração realizada (pg. 13, 3º parágrafo)	Pendente	Texto incluído, pág. 12)	Atende
4.2.3	Escopo do estudo										



4.2.3.1	Considerações gerais	-	-	Vide itens 4.2.3.4 e 4.2.3.6. Outro importante elemento do escopo é que embora as fronteiras do sistema estejam claramente definidas é preciso detalhar as diferenças de cada sistema produtivo analisado.	Pendente	Vide linha 21 da Tabela 1 (Aba Geral) e itens 4.2.3.4 e 4.2.3.6. da Tabela 2 (Aba Conformidade_Norma).	a. O texto incluído auxilia na compreensão do que é cada sistema, porém não permite entender as diferenças na qualidade final do produto (características da qualidade de cada carne, como por exemplo a porcentagem do marmoreio) e características técnicas de cada sistema de produção (por exemplo índices de desempenho zootécnico). A ausência dessas informações dificulta a compreensão dos comportamentos dos resultados. Por exemplo, não é possível inferir como o sistema de produção para animais com alta porcentagem de marmoreio influencia na disposição dos animais em termos de ocupação por área, ou em termos de alimentação animal. Esses fatores ajudam a compreender as diferenças de cada sistema e justificar diferenças no perfil ambiental (mas também a compreender os sistemas de produto e possíveis trade-offs). b. No sistema B os animais devem ser abatidos com até 30 meses, porém na FZ04 são abatidos com 36 e na FZ13 com 34. Justificar estas condições, por favor. c. Na descrição do sistema B é citado que a demanda do mercado internacional está nos animais com alta taxa de carne na carcaça. Porém, o rendimento de carcaça foi definido como idêntico para todos os sistemas. Deste modo, não é	a. Questões relacionadas à qualidade da carne e os índices de desempenho zootécnicos não foram tratadas no relatório e não foram determinantes para a definição dos sistemas de produto. Tanto que essas questões não foi possível discutir esses aspectos nos resultados. Inserido comentários nas seções 2.2 (página 20, 2º parágrafo); 3.1 (página 30, 4º parágrafo) e 5.4 (página 102, 1º parágrafo). b. Não há uma restrição quanto a idade de abate dos animais do sistema de produto B, apesar dessa ser uma característica comum. Foi alterado o texto para "A demanda do mercado internacional está principalmente nas carcaças de animais com até 30 meses de idade, machos castrados e alta porcentagem de marmoreio (acúmulo de gordura intramuscular)" - página 22, 2º parágrafo. c. Alterado o texto. Na verdade o alto rendimento de carcaça não é uma exigência do mercado europeu, mas provavelmente, uma consequencia do sistema de produção voltado à exportação. De todo modo, foi inserido texto nas conclusões (pag 119, 1º parágrafo). d. A validação dos sistemas de produto (atendimento às exigências	Pendente	Justificado	Atende
4.2.3.2	Função e unidade funcional	2.3	24	O projeto definiu uma unidade declarada. Desse modo, função e unidade funcional não foram definidos como determinado por norma. O sistema de produto analisa um produto sem as etapas de uso e fim de vida. Além disso, em estudos de ACV do setor de alimentos, devido a dificuldade de analisar uma função em específico (proteínas, calorias, etc.) é comum o uso de unidade declarada. Desta forma, é considerado como atendido esse requisito	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.2.3.3	Fronteira do sistema	2.4	25	Estão claramente definidas	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende



4.2.3.4	Metodologia da AICV e tipos de Impactos	2.6	27	Está claramente descrito quais os fatores utilizados, entretanto, no estudo é citado o uso de valores extraídos do software SimaPro®. Caso os valores provenientes do SimaPro® sejam em nível de fator de impacto (caracterizados em CO ₂ e), maiores detalhes devem ser descritos, uma vez que os métodos do software consideram caracterização para outras substâncias (fluxos elementares) além das citadas na Tabela 8.	Pendente	Vide comentário da linha 69 da Tabela 1.	Esclarecido em vários pontos do texto o uso das informações em nível de ICV do SimaPro® e incluída informação citando Excel® como plataforma de cálculo.	-	Atende		Atende
4.2.3.5	Tipos e fontes de dados	2.1 / 3.	15 / 28	No item de premissas e no capítulo de coleta de dados estão claramente descritos os tipos e fontes de dados.	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.2.3.6	Requisitos de qualidade dos dados			Existem algumas menções ao longo do relatório sobre os dados, porém não foi encontrado um item descrevendo quais os requisitos de qualidade de dados foi usado para guiar a condução do projeto. A qualidade dos dados também não foi avaliada pelo projeto.	Pendente	Inserido comentário no Capítulo 3, página 28.	Incluído texto descrevendo que não foram estabelecidos requisitos de qualidade dos dados.	Revisamos a ISO 14044 e percebemos que na verdade foram definidos requisitos para a qualidade dos dados, que foram todos atendidos. Inserido trecho no Capítulo 3 (pg. 29, parágrafo 6 e 7) e Capítulo 5 (pg. 81, 2 e 3º parágrafo) e alterado trecho no Capítulo 7 (pg. 119, 1º parágrafo).	Não atende	Requisitos de qualidade dos dados inseridos e discutidos. As limitações com relação aos dados secundários também foram incluídas.	Atende
4.2.3.7	Comparações entre sistemas	2	15	É mencionado que o estudo não é destinado para comparações assertivas.	N/A	ok	-	-	N/A	-	N/A
4.3	Análise do inventário do Ciclo de Vida (ICV)										
4.3.1	Considerações gerais	-	-	-	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.3.2	Coleta de dados	3 e Anexos	28	Os procedimentos de coleta de dados estão descritos	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.3.3	Procedimentos de cálculo	-	-	Vide itens 4.3.3.2 e 4.3.3.3	Pendente	Vide itens 4.3.3.2 e 4.3.3.3			Não atende	-	Atende
4.3.3.1	Considerações gerais	4 e subitens	48	Os procedimentos de cálculo estão claramente descritos	Atende	ok				Atende	Atende



4.3.3.2	Validação dos dados	-	-	Não são mencionados procedimentos para validação dos dados	Pendente	Inserido comentário no Capítulo 3, página 28.	Incluído texto descrevendo que não foram estabelecidos requisitos de qualidade dos dados.	Vide item 4.2.3.6	Não atende	Requisitos de qualidade dos dados inseridos e discutidos. As limitações com relação aos dados secundários também foram incluídas.	Atende
4.3.3.3	Correlação de dados a processos elementares e a unidade funcional	-	-	O inventário não é apresentado no relatório, deste modo não foi possível avaliar a correlação dos dados à unidade declarada	Pendente	Inserido comentário no Capítulo 3, página 28, explicando o motivo de não apresentar o ICV.	Incluído texto descrevendo que os dados são confidenciais, deste modo, não foram apresentados e consequentemente não foram avaliados.	Inserida tabela com ICV consolidado no Capítulo 5 (pg. 81, 5 e 6º parágrafos e pg. 82). Como este estudo foca apenas em uma categoria de impacto ambiental – mudanças climáticas, foram consideradas relevantes apenas as emissões de GEE para o ar.	Pendente	-	Atende
4.3.3.4	Refinamento da fronteira do sistema	-	-	Não foi mencionado necessidade de refinamento das fronteiras	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.3.4	Alocação										
4.3.4.1	Considerações gerais	-	-	Vide item 4.3.4.2	Pendente	Vide item 4.3.4.2			Pendente		Atende
4.3.4.2	Procedimento de alocação	2.5	26	Está claramente descrito os fatores de alocação utilizados na etapa de abate. Entretanto, no sistema de bovinocultura podem ser considerados coprodutos a carne bovina proveniente dos animais progenitores e como subproduto o uso de manejo de dejetos como fertilizante orgânico. Citar no relatório como esses coprodutos/subprodutos foram considerados na pegada de carbono.	Pendente	Vide comentário da linha 34 da Tabela 1.	Incluir na seção 2.5, o texto "Na abordagem top-down não se fez distinção da carne de machos, touros ou vacas e portanto, não foi necessária alocação." para clarificar que não há diferenciação entre carne de animais reprodutores e por isso não há necessidade de alocação.	Alteração realizada	Pendente	-	Atende
4.3.4.3	Procedimentos de alocação para reuso e reciclagem	-	-	Não existem/são mencionados processos com reuso e reciclagem nos sistemas de produto analisados	N/A	ok	-	-	N/A	-	N/A
4.4	Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)										
4.4.1	Considerações gerais										
4.4.2	Elementos obrigatórios da AICV										
4.4.2.1	Considerações gerais										



4.4.2.2	Seleção de categorias de Impacto, Indicadores de categoria e modelos de caracterização	2.6	27	Está claramente descrito, entretanto, no estudo é citado o uso de valores extraídos do software SimaPro®. Caso os valores provenientes do SimaPro® sejam em nível de fator de impacto (caracterizados em CO2e), maiores detalhes devem ser descritos, uma vez que os métodos do software consideram caracterização para outras substâncias (fluxos elementares) além das citadas na Tabela 8.	Pendente	Vide comentário da linha 69 da Tabela 1.	Esclarecido em vários pontos do texto o uso das informações em nível de ICV do SimaPro® e incluída informação citando Excel® como plataforma de cálculo.	-	Atende	-	Atende
4.4.2.3	Correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação)	-	-	Não é mencionado como foi realizada a correlação dos resultados de ICV à categoria de impacto	Pendente	Inserimos comentário na seção 2.6. Não sei se compreendemos qual a exigência da ISO.	Esclarecido em vários pontos do texto o uso das informações em nível de ICV do SimaPro® e incluída informação citando Excel® como plataforma de cálculo.	-	Atende	-	Atende
4.4.2.4	Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização)	-	-	Não é mencionado como foi realizada a correlação dos resultados de ICV à categoria de impacto	Pendente	Inserimos comentário na seção 2.6. Não sei se compreendemos qual a exigência da ISO.	Esclarecido em vários pontos do texto o uso das informações em nível de ICV do SimaPro® e incluída informação citando Excel® como plataforma de cálculo.	-	Atende	-	Atende
4.4.2.5	Dados resultantes após a caracterização	5		Os resultados são apresentados em capítulo específico	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.4.3	Elementos opcionais da AICV										
4.4.3.1	Considerações gerais	-	-	Citar no relatório que o projeto não faz uso de elementos opcionais da AICV.	Pendente	Inserido comentário na seção 2.6.	Texto incluído	-	Atende	-	Atende
4.4.3.2	Normalização	-	-	-	N/A	-	-	-	N/A	-	N/A
4.4.3.3	Agrupamento	-	-	-	N/A	-	-	-	N/A	-	N/A
4.4.3.4	Ponderação	-	-	-	N/A	-	-	-	N/A	-	N/A
4.4.4	Análise adicional da qualidade dos dados da AICV	6.2.1	112	É conduzida uma análise de sensibilidade do método de AICV	Atende	ok	-	-	Atende	-	Atende
4.4.5	AICV para uso em afirmações comparativas a serem divulgadas	2	15	É mencionado que o estudo não é destinado para comparações assertivas.	N/A	ok	-	-	N/A	-	N/A



4.5	Interpretação do ciclo de vida								
4.5.1	Considerações gerais	-	-	-	Atende	ok			
4.5.2	Identificação de questões significativas	5.4	93 / 94	O relatório reporta (Figura 17 e 18) as etapas e substâncias mais significativas para cada categoria de impacto.	Atende	ok	-	-	Atende
4.5.3	Avaliação								
4.5.3.1	Considerações gerais	-	-	Vide itens 4.5.3.2 e 4.5.3.4	Pendente	Vide itens 4.5.3.2 e 4.5.3.4	Vide item 4.5.3.2	Pendente	Atende
4.5.3.2	Verificação de completudeza	-	-	Não foram reportadas informações com relação a completudeza das informações. O inventário também não é apresentado	Pendente	Inserido comentário no Capítulo 3, página 28, explicando o motivo de não apresentar o ICV.	Incluído texto descrevendo que os dados são confidenciais, deste modo, não foram apresentados e consequentemente não foram avaliados.	Inserido tabela com ICV consolidado no Capítulo 5 (pg. 81, 5 e 6º parágrafos e pg. 82). Como este estudo foca apenas em uma categoria de impacto ambiental – mudanças climáticas, foram consideradas relevantes apenas as emissões de GEE para o ar.	Atende
4.5.3.3	Verificação de sensibilidade	6	105	Foram conduzidas algumas análises de sensibilidade para endereçar questões como método de AICV, parâmetros de desempenho zootécnico (intervalo entre partos), abordagem para modelagem, impactos de desmatamento e recuperação de áreas degradadas.	Atende	ok	-	-	Atende
4.5.3.4	Verificação de consistência	-	-	Não foram descritos os requisitos de qualidade de dados para que se possa avaliar se o estudo foi realizado de forma consistente com o objetivo	Pendente	Inserido comentário no Capítulo 3, página 28,	Incluído texto descrevendo que não foram estabelecidos requisitos de qualidade dos dados.	Vide item 4.2.3.6	Atende



4.6	Conclusões, limitações e recomendações	7	115	a. Considerando que o relatório possui como objetivo quantificar a pegada de carbono da carne bovina brasileira, recomenda-se que a conclusão traga um posicionamento do relatório sobre o valor quantificado para endereçar o atendimento a esse objetivo, na forma de uma média, ou preferencialmente um range por sistema de produto. b. De modo geral o estudo atende vários requisitos das normas, entretanto, a ausência do inventário do ciclo de vida e de detalhes do sistema de produto não nos fornecem subsídios suficientes para considerar que as conclusões atendem aos objetivos propostos. c. As limitações do estudo quanto a uma análise da qualidade dos dados deve ser incluída nas conclusões. d. Citar o uso de mesmos fatores de emissão de emissão para todas os sistemas de produto como uma limitação. e. Outros elementos	Pendente	Alteração realizada a. Foram incluídos os resultados quantitativos, por sistema de produto. b. Foram incluídas mais informações sobre os sistema de produto, no entanto, por questões de confidencialidade, não será possível apresentar o inventário do ciclo de vida. c. Foram incluídas como limitações técnicas. d. Foram incluídas como limitações técnicas. e. Vide linha 106 da Tabela 1. Incluído texto descrevendo que os dados são confidenciais, deste modo, não foram apresentados e consequentemente não foram avaliados. A ausência dos dados do inventário, bem como de definições claras das diferenças dos sistemas de produção limitam a compreensão para saber se o objetivo proposto foi alcançado. Inserido tabela com ICV consolidado no Capítulo 5 (pg. 81, 5 e 6º parágrafos e pg. 82). Como este estudo foca apenas em uma categoria de impacto ambiental – mudanças climáticas, foram consideradas relevantes apenas as emissões de GEE para o ar.	Pendente	Requisitos de qualidade dos dados inseridos e discutidos. As limitações com relação aos dados secundários também foram incluídas.	Atende
-----	--	---	-----	---	----------	---	----------	---	--------



Anexo 2. Exemplo de ficha de coleta de dados enviada às fazendas

Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira

Este documento é parte integrante do projeto de pesquisa aplicada "Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento para análise da competitividade internacional de produtos brasileiros: estudo de caso da carne bovina", denominado também de **Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira – PCCBB**.
O projeto é coordenado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces / FGV-EAESP) e conta com recursos do Fundo de Pesquisa Aplicada da FGV (FPA-FGV).

Os dados em vermelho são exemplos e devem ser substituídos pelos dados reais - considere o ano de 2018

Responsável pelo preenchimento	
Nome	
E-mail	
Telefone	
Identificação da Fazenda (pode ser apenas um código)	

Dados da fazenda	
Estado	Mato Grosso do Sul
Município	Campo Grande
Latitude e longitude (não é obrigatório)	20°27'14.3"S 54°34'33.0"W
Bioma	Cerrado
Sistema de produção	Sistema extensivo com pastagem cultivada
Área de pastagem (hectares)	600
Situação da área há 20 anos (1998)	vegetação nativa
Situação atual da área de pastagem	pastagem degradada
A fazenda possui sistema de manejo de dejetos? De que tipo?	Sim, biodigestor
A fazenda costuma vender animais para outras fazendas?	Não

Dados sobre animais comprados de outras fazendas em 2018			
	Quantidade (cabeças)	Peso médio (kg)	Idade média (meses)
Jovens (até 1 ano - machos)	50	150	10
Jovens (até 1 ano - fêmeas)	40	160	11
Machos	100	300	24
Fêmeas	20	320	26
TOTAL	210	-	-

Dados do rebanho (em cabeças)	
Jovens (até 1 ano - machos e fêmeas)	300
Machos	300
Fêmeas	400
TOTAL	1000

Estas informações representam uma "fotografia" da fazenda no primeiro dia do ano: 01/01/2018.

Os animais comprados de outras fazendas durante o ano de 2018 **NÃO** devem fazer parte desta tabela.

Vendas para abate (2018)	
Quantidade de animais vendidos (em cabeças)	100
Peso médio dos animais vendidos (em kg)	450
Idade média dos animais vendidos (em meses)	40

Utilização de insumos			
Utilização de fertilizantes e corretivos	Quantidade	Unidade de medida	Observação
calcário calcítico	4	toneladas	consumo total em 2018
calcário dolomítico	8	toneladas	consumo total em 2018
ureia	10	toneladas	consumo total em 2018
TSP	25	toneladas	consumo total em 2018
cloreto de potássio	6	toneladas	consumo total em 2018
NPK 10-30-10	9	toneladas	consumo total em 2018
NPK 4-14-8	50	toneladas	consumo total em 2018

Dados relacionados à alimentação do animal			
Alimento	Quantidade	Unidade de medida	Observação
farelo de soja	20	toneladas	consumo total em 2018
milho	34	toneladas	consumo total em 2018
silagem de milho	56	toneladas	consumo total em 2018



Anexo 3. Exemplo de ficha de coleta de dados enviada às unidades frigoríficas

Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira

Este documento é parte integrante do projeto de pesquisa aplicada "Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento para análise da competitividade internacional de produtos brasileiros: estudo de caso da carne bovina", denominado também de **Pegada de Carbono da Carne Bovina Brasileira – PCCBB**.

O projeto é coordenado pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces / FGV-EAESP) e conta com recursos do Fundo de Pesquisa Aplicada da FGV (FPA-FGV).

Os dados em vermelho são exemplos e devem ser substituídos pelos dados reais.

Responsável pelo preenchimento	
Empresa	
Unidade frigorífica	
Nome	
E-mail	
Telefone	

Fronteiras	
Início	recebimento do animal vivo pelo frigorífico
Término	saída do frigorífico (produto pronto para expedição) OU saída do centro de distribuição (CD)
Processos envolvidos	abate, resfriamento da carcaça, desossa da carcaça, embalagem, armazenamento pré-expedição, expedição, transporte para o CD, armazenamento no CD
Produto	carne desossada embalada e pronta para expedição
Coprodutos	todos os outros produtos e subprodutos provenientes do animal

Dados do animal (utilize valores médios)			
> Os dados coletados devem ter como referência o ano de 2017 (caso não possua, adote os dados de 2016)			
	animal	carcaça	carne desossada
Peso (kg)	450	234	147
Valor econômico (%)	n/a	70%	75%

Dados de entrada e saída - processos dentro do frigorífico			
> Todos os dados coletados devem se referir a 1 animal			
> Não é necessário separar os dados coletados para cada processo; um valor agregado para todos os processos é suficiente			
> Os dados coletados devem ter como referência o ano de 2017 (caso não possua, adote os dados de 2016)			
Entradas de energia	Quantidade	Unidade de medida	Observação
energia elétrica	4	kWh	por animal
Entradas de materiais e combustíveis	Quantidade	Unidade de medida	Observação
óleo diesel	12	litros	por animal
GLP	3	kg	por animal
gás natural	4,1	m ³	por animal
Emissões de gases de efeito estufa da ETE	Quantidade	Unidade de medida	Observação
CO ₂	18	kg	por animal
CH ₄	3	kg	por animal
Resíduos sólidos	Quantidade	Unidade de medida	Observação
Conteúdo ruminal	5	kg	por animal