

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TAYNARA FREITAS AVELAR DE ALMEIDA

**Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira
integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol
Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool**

Pirassununga

2023

TAYNARA FREITAS AVELAR DE ALMEIDA

**Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a
produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Florestas, e
Cool Farm Tool**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:

Nutrição e Produção Animal (VNP)

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro

Pirassununga

2023

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Biblioteca Virgínia Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da
Universidade de São Paulo
Ficha catalográfica gerada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Almeida, Taynara Freitas Avelar de
Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade
leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas
GHG Protocol Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool / Taynara
Freitas Avelar de Almeida ; orientador Augusto Hauber Gameiro .--
Pirassununga, 2023.
96 f. : il.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Nutrição e
Produção Animal - Departamento de Nutrição e Produção Animal) -
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São
Paulo, 2023.

1. Agronegócio. 2. Bovinocultura. 3. Inventário de Emissões. 4.
Sustentabilidade. I. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação
na publicação: Maria Aparecida Laet - CRB 5673-8.



*Comissão de Ética no
Uso de Animais*

São Paulo, 24th August 2023

CERTIFIED

We certify that the proposal entitled: "*Estimation of the greenhouse gas balance on a dairy farm integrated with veget.a.b.l.e production: using the GHG Protocol Agriculture and Forestry tools and the Cool Farm Tool*", protocol number CEUAX 9354250722 (ID 002338), under the responsibility Augusto Hauber Gameiro, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by Ethic Committee in the Use of Animals of School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo), and was approved in the meeting of day October 05, 2022.

Certificamos que a proposta intitulada: "*Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool*", protocolado sob o CEUAX nº 9354250722, sob a responsabilidade de Augusto Hauber Gameiro, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade de São Paulo, e foi aprovado na reunião de 05 de outubro de 2022.

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna
Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Camilla Mota Mendes
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo



Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade de São Paulo

Comissão de Ética no Uso de Animais

São Paulo, 24 de agosto de 2023
CEUax N 9354250722

Ilmo(a). Sr(a).

Responsável: Augusto Hauber Gameiro

Área: Nutrição E Produção Animal

Equipe envolvida: Taynara Freitas Avelar De Almeida - (pós-graduando);

Título da proposta: "Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool".

Parecer Consubstanciado da CEUA FMVZ

A Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Universidade de São Paulo, na reunião de 05/10/2022, **ANALISOU** e **APROVOU** a proposta acima referenciada. A partir desta data, é dever do pesquisador:

1. Comunicar toda e qualquer alteração.
2. Comunicar imediatamente ao Comitê qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da proposta.
3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.
4. **Relatórios parciais** de andamento deverão ser enviados **anualmente** à CEUA até a conclusão da proposta.

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna

Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Camilla Mota Mendes

Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autora: Taynara Freitas Avelar de Almeida

Título: Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Floretas, e Cool Farm Tool

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data de aprovação: / /

Banca examinadora

Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro – Presidente da Banca Examinadora

Instituição: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade de São Paulo

Prof. Dr.

Instituição:

Prof. Dr.

Instituição:

RESUMO

ALMEIDA, T.F.A. **Estimativa do balanço de gases do efeito estufa em propriedade leiteira integrada com a produção vegetal: a partir das ferramentas GHG Protocol Agricultura e Florestas, e Cool Farm Tool.** 2023. N° de pag. 96. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

O Brasil ocupa um papel de destaque no setor agropecuário a nível mundial. Este setor participa de forma significativa nas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), especialmente dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4). Preocupações acerca do aquecimento global impulsionam a busca por ferramentas e estratégias que visam reduzir a produção de GEE. Apesar de sua importância, poucos trabalhos mensuram o fluxo de emissão destes gases pela pecuária de leite. Objetivou-se, com este estudo, estimar o balanço de emissões e sequestros de GEE em uma fazenda leiteira integrada com a produção vegetal, a partir das ferramentas Greenhouse Gas Protocol (GHG) e Cool Farm Tool (CFT). A fazenda está localizada em Guaranésia, Minas Gerais – Brasil, possui ao todo 171 hectares (ha). Os dados referiam-se ao período de um ano, de janeiro a dezembro de 2021, e foram levantados por meio de formulários. Analisou-se as seguintes atividades: i) área de produção de milho (45 ha); ii) área silvipastoril (3 ha) com espécies arbóreas madeireiras e frutíferas, leguminosas e gramínea; (iii) Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (45 ha) formada em 2008; iv) área de Eucalipto (5 ha) plantada em 2010; e v) área de pastagem (16 ha). O plantel da propriedade é da raça Girolando e Jersey, totalizando 125 animais, entre lactantes, vazias, novilhas e bezerras. A produção média de leite é de 800 Litros/dia. Os resultados foram fornecidos por inventário, sendo uma fonte de informação quantitativa e qualitativa sobre as emissões e sequestros de GEE do sistema analisado. Ao considerar o período de um ano, tem-se por resultado o balanço de emissões líquidas, de acordo com GHG Protocol, para a área de pastagem e pecuária, o valor de 767,86 toneladas de CO_2 -eq.; a área de milho apresentou a importância de 173,62 toneladas de CO_2 -eq.; a área de eucalipto apresentou -133,86 toneladas de CO_2 -eq.; a área silvipastoril e as áreas de APP e reserva legal apresentaram o valor de -18,53 e -841,32 toneladas de CO_2 -eq., respectivamente. O balanço final da propriedade resultou em -52,23 toneladas de CO_2 -eq. Já na ferramenta CFT, considerando o período de um ano, as emissões líquidas da área de pastagem e pecuária foram de 432,74 toneladas de CO_2 -eq.; a área de milho apresentou em emissões líquidas de 108,12 toneladas de CO_2 -eq e a área de solos alcançaram emissões líquidas totais de -826,74 toneladas de CO_2 -eq. O balanço final de emissões da fazenda foi de -285,26 toneladas de CO_2 -eq. Apesar de apresentar o valor considerável de emissões líquidas, a CFT não avalia reserva legal, APP e área de eucalipto, bem como seus fatores de emissões não

seguem a realidade brasileira. Os componentes arbóreos apresentam um grande potencial em sequestrar carbono acima e/ou abaixo do solo, sendo importante sua análise dentro da propriedade. A ferramenta GHG Protocol apresenta-se como a alternativa mais recomendada para a mensuração de gases na produção brasileira por apresentar fatores de emissões locais e analisar os ativos florestais, o que trazem maior confiabilidade do papel dos produtores, empresas das cadeias do agronegócio no aquecimento global.

Palavras-chaves: Agronegócio, Bovinocultura, Inventário de Emissões, Sustentabilidade.

ABSTRACT

ALMEIDA, T.F.A. **Estimating the greenhouse gas balance on a dairy farm with integrated vegetable production: using the GHG Protocol Agriculture and Forestry tools and the Cool Farm Tool.** 2023. No. of pag. 96. Dissertation (Master) - Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, University of São Paulo, Pirassununga, 2023.

Brazil plays a leading role in the agricultural sector worldwide. This sector plays a significant role in greenhouse gas (GHG) emissions, especially carbon dioxide (CO₂), nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄). Concerns about global warming are driving the search for tools and strategies to reduce GHG production. Despite their importance, few studies measure the flow of emissions of these gases from dairy farming. The aim of this study was to estimate the balance of GHG emissions and sequestration on a dairy farm integrated with crop production, using the Greenhouse Gas Protocol (GHG) and Cool Farm Tool (CFT). The farm is located in Guaranésia, Minas Gerais - Brazil, and covers a total of 171 hectares (ha). The data referred to a period of one year, from January to December 2021, and was collected using forms. The following activities were analyzed: i) corn production area (45 ha); ii) silvopastoral area (3 ha) with timber and fruit tree species, legumes and grass; (iii) Permanent Preservation Area (APP) and Legal Reserve (45 ha) formed in 2008; iv) Eucalyptus area (5 ha) planted in 2010; and v) pasture area (16 ha). The property's herd is of the Girolando and Jersey breeds, totaling 125 animals, including lactating calves, empty calves, heifers and heifers. Average milk production is 800 liters/day. The results were provided by inventory, which is a source of quantitative and qualitative information on the GHG emissions and sequestration of the system analyzed. When considering the period of one year, the net emissions balance, according to the GHG Protocol, for the pasture and livestock area was 767.86 tons of CO₂-eq; the corn area was 173.62 tons of CO₂-eq; the eucalyptus area was -133.86 tons of CO₂-eq; the agroforestry area and the APP and legal reserve areas were -18.53 and -841.32 tons of CO₂-eq, respectively. The final balance of the property resulted in -52.23 tons of CO₂-eq. In the CFT tool, considering the period of one year, the net emissions from the pasture and livestock area were 432.74 tons of CO₂-eq; the corn area had net emissions of 108.12 tons of CO₂-eq and the soil area reached total net emissions of -826.74 tons of CO₂-eq. The final balance of emissions from the farm was -285.26 tons of CO₂-eq. Despite the considerable amount of net emissions, the CFT does not evaluate legal reserves, APP and eucalyptus areas, and its emission factors do not follow the Brazilian reality. Tree components have great potential for sequestering carbon above and/or below

ground, making it important to analyze them within the property. The GHG Protocol tool is the most recommended alternative for measuring gases in Brazilian production because it presents local emission factors and analyzes forest assets, which makes the role of producers and companies in agribusiness chains in global warming more reliable.

Keywords: Agribusiness, Cattle, Emissions Inventory, Sustainability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ciclos de nitrificação e desnitrificação do solo e da atmosfera	25
Figura 2. Localização da área de estudo em Guaranésia, Minas Gerais, Brasil.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores do GWP dos gases de efeito estufa, segundo o AR4 (IPCC).....	26
Tabela 2. Descrição da propriedade	36
Tabela 3. Espécies arbóreas madeireiras e frutíferas da área silvipastoril.	36
Tabela 4: Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária gerado pela ferramenta CFT	42
Tabela 5: Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária gerado pela ferramenta GHG	44
Tabela 6: Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho gerado pela ferramenta CFT.	46
Tabela 7: Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho gerado pela ferramenta GHG.	47
Tabela 8: Distribuição de GEE produzidos por setor para a avaliação de captura de emissões de GEE pelo solo, gerado pela ferramenta CFT.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
ANUALPEC	Anuário da Pecuária Brasileira
AR4	<i>Fourth Assessment Report</i>
AR5	<i>Fifth Assessment Report</i>
CCAC	Climate and Clean Air Coalition
CH ₄	Metano
CFT	Cool Farm Tool
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ -eq.	Dióxido de carbono equivalente
CO ₂ -eq.ha/ano	Dióxido de carbono equivalente por hectare por ano
CO ₂ -eq./ha	Dióxido de carbono equivalente por hectare
CO ₂ -eq./kg	Dióxido de carbono equivalente por quilograma
COP	<i>Conference of the Parties</i>
DAB	Diretrizes Agrícolas Brasileiras
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILP	Integrados Lavoura-Pecuária
ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MAPA	Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MtCO ₂ -eq.	Milhões de toneladas de CO ₂ equivalente

PAG	Potencial de Aquecimento Global
N ₂ O	Óxido nitroso
NPP	<i>Net Primary Productivity</i>
SAF	Sistema Agroflorestal
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SSP	Sistema Silvipastoril
UNEP	<i>United Nations Environment Program</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
WBSCD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.1.1 Objetivos Específicos	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 A BOVINOCULTURA DE LEITE NO MUNDO E NO BRASIL	18
3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS.....	19
3.2.1. O papel das árvores e do solo na mitigação climática.....	20
3.3 EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA	23
3.3.1. Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa.....	27
3.3.2. Estimativa do balanço de gases do efeito estufa para produção leiteira e produção vegetal.....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 PROPRIEDADE DE ESTUDO	35
4.2 COLETA DE DADOS	37
4.3 CÁLCULOS	37
4.3.1 GHG Protocol Agricultura e Florestas	38
4.3.2 Cool Farm Tool	39
4.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA	40
4.5 ANÁLISE DAS FERRAMENTAS.....	40
5. RESULTADOS.....	40
5.1 BALANÇO GERAL DAS EMISSÕES	40
5.2 PASTAGEM E PECUÁRIA	40
5.3 MILHO	44
5.4 COOL FARM TOOL <i>SOLOS</i>	47
5.5 GHG PROTOCOL <i>FLORESTAS</i>	49
5 DISCUSSÃO.....	50
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXO A	71

ANEXO B	78
ANEXO C	86
ANEXO D	93
ANEXO E.....	94

1. INTRODUÇÃO

A gestão e planejamento de redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) têm se tornado prioridade nos países devido ao crescimento das concentrações dos gases, como dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Esse aumento é resultado das atividades humanas e a principal causa do aquecimento global (LIU et al., 2019). As mudanças climáticas causam riscos incertos ao planeta, por afetar os meios de subsistência, causar impactos econômicos, ameaçar a vida humana e o meio ambiente (RISING et al., 2022). De acordo com *Climate And Clean Air Coalition*, o metano pode permanecer na atmosfera antes de se decompor por um período de até 12 anos. Entretanto, no seu tempo de permanência, apresenta o Potencial de Aquecimento Global, em inglês *Global Warming Potential (GWP)*, 86 vezes maior do que o dióxido de carbono, em um período de 20 anos (CCAC, 2021).

O sexto relatório *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022)*, órgão de alto renome em ciência do clima, alertou que o mundo pode atingir ou exceder 1,5°C de aquecimento nas próximas duas décadas. O Acordo de Paris, firmado em 2015, estabelece os objetivos globais de ambições climáticas, conforme definido na meta de temperatura de longo prazo e meta de mitigação (SCHLEUSSNER et al., 2022). Esse acordo é adotado pelos países que fazem parte da *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* e foi definido durante a COP 21 (*Conference of the Parties*) (UNFCCC, 2022).

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2021) no ano que o mundo sofreu com a pandemia, o Brasil apresentou aumento em suas emissões em 9,5%, em contrapartida outros países diminuíram suas emissões. Segundo o SEEG, o fator determinante para este aumento foi o desmatamento, destacando o que acontece na Amazônia e no Cerrado.

O Brasil na COP26 (26ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC), assumiu o compromisso de reduzir suas emissões em 50% até 2030 (UNFCCC, 2022). Esta foi uma conferência internacional sobre mudanças climáticas realizada em Glasgow, Escócia, no final de 2021. A conferência foi um dos eventos mais importantes relacionado ao clima após o Acordo de Paris de 2015, COP21, e teve como objetivo reunir líderes de todo o mundo para discutir e tomar medidas sobre as questões urgentes das mudanças climáticas. De acordo com o SEEG (2021), as principais emissões no Brasil são decorrentes da agropecuária, quantificadas em milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq.).

Inseridas no contexto da agropecuária e mudança de uso do solo, as propriedades rurais são fontes de emissões de gases do efeito estufa, com a produção de metano por fermentação entérica e dos dejetos (COSTA et al., 2022), dióxido de carbono pela mudança de uso da terra, e o óxido nitroso do manejo dos dejetos e fertilizantes (HERRERO et al., 2015). A produção de alimentos tende a aumentar consideravelmente a fim de suprir a demanda populacional, projetada para 10 bilhões de pessoas até 2050 de acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2018). Todos os setores produtivos, incluindo o de leite enfrentam desafios para reduzir suas emissões de GEE e, ao mesmo tempo, aumentar a produção de alimentos (MUNIDASA et al., 2021).

Os diferentes sistemas de produção de leite podem apresentar variações nas emissões de GEE, bem como as práticas e a localidade, e sua participação precisa ser contabilizada usando metodologias consistentes (MAZZETTO et al., 2022). Segundo a FAO (2018), a produção de CH₄ entérico corresponde por quase 60% das emissões de GEE do gado leiteiro. Os GEE representam uma perda de energia e nitrogênio, componente fundamental da proteína, que poderiam estar sendo utilizados para potencializar a produção do leite (ECKARD e CLARK, 2018).

Visto o impacto dos GEE pela produção de alimentos, torna-se importante também a elaboração de políticas que incentivem a redução da emissão de GEE pelo setor agropecuário. Em 2012, criado pelo Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, chamado de Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, para contribuir com os compromissos de redução de emissão de GEE no setor agropecuário assumidos pelo Brasil (BRASIL, 2012).

O plano é composto por sete tecnologias: recuperação de pastagens degradadas, integração lavoura-pecuária-floresta; sistemas agroflorestais; sistema plantio direto; fixação biológica de nitrogênio; florestas plantadas; tratamento de dejetos animais e adaptação as mudanças climáticas (BRASIL, 2012). O plano ABC, entre 2010 e 2020, mitigou cerca de 170 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente em uma área de 52 milhões de hectares (BRASIL, 2022b).

O uso de sistemas integrados que incorporam atividades de produção agrícola, pecuária e florestal na mesma fazenda, pode contribuir para o aumento da produtividade, qualidade, rentabilidade e sem comprometer o meio ambiente (KICHEL et al., 2019). O componente

arbóreo apresenta grande potencial em sequestrar carbono em estoques acima e/ou abaixo do solo para mitigar os números de GEE (DOUGLAS et al., 2020). Para o setor agropecuário, os sistemas silvipastoris (SSP), compostos por árvores, animais e pastagem, podem reduzir as emissões de gases (GOMES et al., 2020).

Portanto, visto que as propriedades rurais com sistemas integrados no Brasil apresentam ser potenciais emissores ou sequestradores de gases, é importante que o método de mensuração desses gases contemple a realidade brasileira, com fatores de emissões adequadas ao tipo de sistema produtivo. A utilização de ferramentas com características tropicais para o desenvolvimento de inventários de GEE, que avaliem a contribuição dos animais, da lavoura e da floresta de forma unificada e completa, apresenta ser uma alternativa válida para entender o papel da produção de alimentos no aquecimento global e auxiliará no desenvolvimento de práticas mais sustentáveis para esta realidade.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem o intuito de estimar o balanço de emissões de gases do efeito estufa na pecuária leiteira integrada com a produção vegetal, a partir de ferramentas GHG Protocol e Cool Farm Tool, e compará-las.

2.1.1 Objetivos Específicos

Ao analisar os resultados apresentados pelas duas ferramentas, foi possível:

- 1) Analisar as semelhanças e/ou diferenças das duas ferramentas, a fim de permitir entender qual se ajusta à necessidade e realidade de um sistema integrado no Brasil, em termos mensuração de gases;
- 2) Elaborar o inventário de emissões de GEE para as produções agrícola, pecuária e florestal da propriedade de estudo;
- 3) Contribuir com o desenvolvimento e padronização de metodologias para medição de GEE, de modo que estes resultados corroborem com futuros estudos e aplicações técnicas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A BOVINOCULTURA DE LEITE NO MUNDO E NO BRASIL

Segundo o USDA (2021), mesmo com todo o desafio logístico devido à pandemia pelo Corona Vírus, a produção de produtos lácteos apresentou crescimento entre 2020 e 2021. Os produtos de maior destaque no cenário mundial são o leite em pó integral e desnatado, queijo e manteiga. O Brasil ocupa a quinta colocação como maior produtor de leite e o quarto maior consumidor do mundo.

A produção mundial de leite atingiu aproximadamente 928 milhões de toneladas em 2021, segundo a FAO (2021a), demonstrando aumento de 1,5% em relação a 2020, com expansões significativas na Ásia e América do Norte e expansões moderadas na Europa, Oceania, América Central, Caribe e África. Em contrapartida, a América do Sul registrou uma ligeira queda na produção de leite. Entre os anos de 2005 e 2015, a demanda crescente no consumo a nível mundial resultou no aumento de 30% da produção (FAO, 2018).

O leite está entre as atividades de maior destaque no agronegócio brasileiro, tendo grande importância na geração de emprego, renda (ROCHA et al., 2018) e, devido à produção familiar, possui grande importância social (BACCHI, 2019). Com uma participação superior a R\$ 51 bilhões em 2021, a atividade leiteira ocupa o terceiro lugar no ranking nacional de produções pecuárias, ficando atrás apenas da produção de bovinos de corte e frangos. Estima-se que, em 2022, a produção de leite tenha alcançado R\$ 56 bilhões em participação do valor bruto nacional da pecuária (BRASIL, 2021).

O Brasil possui 1,176 milhões de estabelecimentos agropecuários produzindo leite. Dentre os maiores produtores de leite do Brasil, tem-se destaque para a região Sudeste, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor do país, seguido pelos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Goiás e São Paulo. Em Minas Gerais foram produzidos 8,8 bilhões de litros de leite segundo dados do IBGE em 2018, o que representa cerca de 29,2% da produção total nacional (IBGE, 2018).

Segundo Telles et al. (2020), a produção leiteira possui alguns modelos de produção. Isto é explicado por Assis et al. (2005), ao classificarem o sistema de produção de leite em quatro tipos, e se diferenciam pelo grau de intensificação, o nível de produtividade e a forma como o volumoso é ofertado. No sistema extensivo tem-se animais com produtividade inferior a 1.200 l/ano e criados exclusivamente a pasto. O sistema semi-intensivo é caracterizado por apresentar uma produtividade por animal entre 1.200 e 2.000 l/ano, a pasto, com volumoso

suplementar nos períodos de pastagem seca. O sistema intensivo a pasto apresenta produtividade de 2.000 a 4.500 l/ano e alimentação a pasto com forragem de alta qualidade nutricional e suplementação volumosa ao longo do ano. Finalmente, o sistema intensivo em confinamento apresenta produtividade acima de 4.500 l/ano, alimentação em cocho e confinamento o ano todo.

3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS

O sistema de manejo tradicional da bovinocultura de leite mais conhecido e utilizado pode ser considerado como o de pastagem ou pastoreio, pois o gado se alimenta de pasto e pode contar ou não com suplementação (DALCHIAVON et al., 2017). A crescente produção de alimentos utilizando os sistemas de monocultura apresenta claros sinais de saturação, principalmente no setor pecuário, em que algumas regiões a degradação de pastagens é um dos principais sinais de que o sistema não está sendo sustentável (SILVA et al., 2020).

Para assegurar a produção de alimentos e reduzir simultaneamente os impactos ambientais é fundamental a proposta de políticas públicas com o intuito de evitar a degradação dos recursos naturais, bem como que estimulem a produção em sistemas resilientes (JOSEPH et al., 2019). Dentre as possibilidades de desenvolvimento sustentável da produção leiteira, pode-se destacar o uso de sistemas integrados, pois estes sistemas indicam resultados positivos frente aos sistemas monoespecíficos ou especializados (KICHEL et al., 2019). De acordo com Balbino et al. (2012), os sistemas integrados se classificam em: Integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril, Integração Pecuária-Floresta ou Silvipastoril, Integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta ou Agrossilvipastoril.

O sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) se destaca por ser um método de produção possivelmente mais sustentável, que inclui atividades agrícolas, pecuárias e florestais em uma mesma área. O cultivo pode ser consorciado, por meio de sucessão ou rotação de culturas, na busca por efeitos sinérgicos entre os constituintes do agroecossistema. Com manejo adequado das culturas e pastagens, os sistemas de ILPF podem proporcionar aumentos significativos na produção, principalmente quando ocorre recuperação de áreas degradadas ou pouco produtivas, também estimula a conservação do solo e recursos hídricos, o desenvolvimento socioeconômico regional (KICHEL et al., 2019).

A ILPF destaca-se como alternativa para a mitigação das emissões de Gases do Efeito Estufa da agropecuária, pois promove a retenção de carbono pela biomassa e pelo solo. Também

possibilita a exploração da propriedade rural o ano todo, favorecendo o aumento da oferta de grãos, de carne e de leite (BALBINO et al., 2011; SERRA et al., 2019). Em contrapartida, essa tecnologia exige maior nível de qualificação dos profissionais envolvidos e investimento financeiro, segundo Gasparini et al. (2017).

3.2.1. O papel das árvores e do solo na mitigação climática

A preocupação com o aquecimento global tem aumentado a pressão sobre os sistemas de produção no Brasil e no mundo para promover práticas sustentáveis. Integrar árvores em locais com produção agrícola apresenta grande potencial para produção de alimentos de forma mais sustentável, oferecendo bem-estar aos animais e podendo ser economicamente viável (KRUCHELSKI et al., 2021). Ao usar a terra para esta finalidade, promove-se interações ecológicas, auxiliando no aumento da produtividade e na conservação dos recursos (FAO, 2018). De acordo com os estudos de Lemes et al. (2021), as árvores desempenham o papel de conforto térmico dentro da fazenda, promove bem-estar animal, auxilia no ganho de peso e no desempenho reprodutivo de novilhas e vacas de corte.

Pesquisas sobre os Sistemas Agroflorestais (SAF) vêm crescendo nos últimos anos por apresentarem potencial de redução dos níveis de GEE no planeta, regularem o fluxo de CO₂ no solo (CARVALHO et al., 2016) e auxiliarem no controle de erosão (LIU et al., 2016), devido à presença dos componentes arbóreos. No Brasil, os benefícios estimados da SAF são de 45% a 65% maiores para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, em relação aos sistemas com produção convencional de acordo com o tipo e finalidade do SAF (SANTOS et al., 2019).

Um estudo realizado por Gomes et al. (2020) buscou esclarecer se os Sistemas Agroflorestais poderiam mitigar as mudanças climáticas na produção de café no Brasil. Os autores realizaram a análise da área de estudo para a produção de café em 2050, projetando sua produção em plantios não sombreados e em sistemas agroflorestais. Os resultados encontrados indicaram que a temperatura média anual do ar deverá aumentar na região de estudo, o que levará a uma redução de quase 60% na área apta para a produção de café em lavouras sem sombra até 2050. Entretanto, a incorporação de sistemas agroflorestais com 50% de cobertura de sombra pode reduzir as temperaturas médias e manter 75% da área apta à produção de café no ano de projeção.

Reflorestar, ato que engloba plantios e regeneração natural da vegetação em áreas desmatadas, apresenta como ação fundamental a mitigação de emissões antrópicas¹ de carbono. Esta ação tem o papel de potencializar o armazenamento de carbono, auxiliar no processo de melhoria de degradação ambiental e promover biodiversidade, sem afetar negativamente os valores da comunidade, como a produção agrícola (NOLAN et al., 2018b). Segundo Nolan et al. (2018a), as mudanças climáticas poderão afetar o crescimento e sobrevivência das árvores, em escala local, podendo apresentar efeitos em escala regional e nacional devido aos distúrbios e riscos. É importante que haja estratégias de mitigação de risco para as áreas reflorestadas, em escalas além da local.

Entender o processo de acúmulo de carbono em áreas de restauração ao longo do tempo é importante para avaliar o sucesso dos programas de restauração e indicar as melhores práticas de manejo e conservação florestal. Shimamoto et al. (2014) analisaram em seu estudo 10 espécies arbóreas, encontradas na Mata Atlântica brasileira, e a relação da biomassa, o tipo de crescimento das espécies arbóreas (lento ou rápido) com o estoque de carbono. Espécies de vida longa e de crescimento lento acumulam menos biomassa em um período mais longo, enquanto as espécies de crescimento rápido de vida curta acumulam mais biomassa em um período mais curto. Concluíram que espécies arbóreas de crescimento rápido contribuem mais para o estoque de carbono durante os primeiros 37 anos de restauração. Já as espécies de crescimento lento, de aproximadamente 41-60 anos, acumulam mais de duas vezes o carbono do que as florestas imaturas, de 21-40 anos mais do que dez vezes o carbono das florestas jovens, entre 7-20 anos, em estágios posteriores da sucessão.

A degradação do solo tem aumentado nas últimas décadas e pode continuar crescendo se estratégias não forem adotadas para melhorar as condições do solo. Esta ação acontece principalmente por atividade humana, geralmente pela agricultura intensiva, bem como é influenciado por fenômenos climáticos extremos e mudanças climáticas. O sistema de monocultura pode influenciar negativamente a estrutura do solo, tendo como consequência o aumento da aeração e mineralização do húmus, liberando grandes quantidades de CO₂ na atmosfera e, portanto, no aumento do efeito estufa (KOWALSKA et al., 2020).

O conteúdo de matéria orgânica no solo é influenciado por muitos fatores, principalmente o tipo de rocha-mãe, o clima (quantidade de precipitação e temperatura) e a forma como o solo é usado (KLEIN et al., 2016). A preservação de matéria orgânica é importante não apenas para preservar as funções produtivas do solo, mas também pelo papel

¹ Emissões antrópicas são emissões produzidas como resultado da atividade humana.

no sequestro de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. A quantidade de matéria orgânica no solo influencia no acúmulo de compostos que incluem, entre outros, carbono, nitrogênio, enxofre e hidrogênio (KOWALSKA et al., 2020).

Os solos representam globalmente o armazenamento de carbono orgânico de longo prazo mais significativo nos ecossistemas terrestres, contendo 4,5 vezes mais carbono do que toda a biomassa viva e 3,1 vezes mais que a atmosfera (MCLEAN et al., 2015). A maior parte do carbono do mundo está armazenada inerte na crosta mais externa da Terra, a litosfera, e na forma de carbono orgânico da biosfera (REICHLE, 2023a). O carbono influencia de forma positiva na estrutura do solo: auxilia na viscosidade e compactação; na quantidade de água armazenada; pode influenciar a cor do solo; ajuda as propriedades físicas, possibilitando que as raízes penetrem de forma adequada e rápida (RABOT et al., 2018).

O ciclo natural do carbono envolve diversas interações biogeoquímicas, divididas em dois grupos para um melhor entendimento (KOWALSKA et al., 2020, REICHLE, 2023a). O primeiro e maior grupo refere-se ao carbono inorgânico presente no solo, retido em rochas e no oceano, ou armazenado na forma de combustíveis fósseis (KOWALSKA et al., 2020). A degradação desse carbono e a liberação na forma de CO₂ atmosférico é um processo que ocorre ao longo de centenas de anos, contribuindo para os níveis de dióxido de carbono na atmosfera e, conseqüentemente, para as mudanças climáticas globais (REICHLE, 2023a).

Por outro lado, a degradação do carbono orgânico do solo é um processo mais dinâmico e influenciado por diversos fatores (RABOT et al., 2018). Devido aos processos metabólicos causados por uma variedade de microrganismos, como bactérias e fungos, juntamente com outras reações geoquímicas. Esses microrganismos decompositores quebram os compostos orgânicos presentes no solo, liberando CO₂ na atmosfera como parte do ciclo natural de decomposição. Essa emissão contínua de CO₂ a partir da degradação do carbono orgânico do solo tem um papel relevante no balanço de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, nas mudanças climáticas ((RABOT et al., 2018; MEHMOOD et al., 2020).

As plantas capturam e convertem o CO₂ atmosférico em carboidratos e glicose, que servem como base para a alimentação dos heterótrofos (KOWALSKA et al., 2020). No entanto, os processos de redução do CO₂ atmosférico não dependem principalmente da fotossíntese das plantas, uma vez que essa reação é parcialmente compensada pela respiração total das plantas (RABOT et al., 2018). Como resultado, cerca de 50% do CO₂ capturado pelas plantas é emitido de volta para a atmosfera (REICHLE, 2023a). O CO₂ presente na atmosfera ainda é composto pela respiração de heterótrofos decompositores e consumidores, responsáveis por pelo menos 90% da Produtividade Primária Líquida (*Net Primary Productivity* - NPP), além de 90%

proveniente da respiração microbiana. O papel das comunidades microbianas na ciclagem de carbono e nitrogênio do ecossistema são fundamentais no ciclo biogeoquímico do carbono (GRAHAM et al., 2016).

Os oceanos atuam como um enorme sumidouro de carbono, pois absorvem 25% de todas as emissões e contém aproximadamente de 56 vezes mais carbono do que a atmosfera (REICHLE, 2023a). O fitoplâncton presente nos oceanos desempenha um papel significativo na captura de carbono inorgânico dissolvido nas águas superficiais em carbono orgânico, através da fotossíntese (NICHOLSON, 2022). Os resíduos autotróficos sedimentam-se e são, em parte ou totalmente, digeridas pelos heterótrofos (REICHLE, 2023b). Com o passar do tempo, parte do carbono é devolvido à atmosfera através de um processo designado por degaseificação (*Outgising*). Uma vez na atmosfera novamente, o carbono originário dos oceanos fica disponível para participar da respiração das plantas e de outras formas de captura e fixação de carbono (NICHOLSON, 2022).

O manejo e uso da terra são práticas reguladoras de carbono orgânico no solo dentro dos sistemas de produção (CONANT et al., 2017). Práticas de manejo adequadas podem influenciar a quantidade de carbono orgânico armazenado no solo, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Deste modo, é importante planejar a construção de agroecossistemas, a fim de reduzir as perdas de carbono por manejos incorretos e que aumentem as boas práticas para que, assim, maximize o armazenamento desse componente no solo (TAUTGES et al., 2019).

3.3 EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

As mudanças no clima são causadas pelo aumento das emissões de GEE, originados principalmente por atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis nas fábricas, a geração de eletricidade, transporte e aquecimento doméstico; pela atividade agropecuária, uso de fertilizantes, desmatamento, produção de madeira; e com a eliminação de resíduo nos aterros e incineração (RAIHAN, 2022). De acordo com Rosenzweig et al. (2020), o sistema alimentar gera 20% a 40% das emissões antrópicas e todas as atividades econômicas. Emissões do solo, decorrentes da produção de ração animal, compreendem a segunda maior fonte de emissões de GEE dos sistemas de laticínios e bovinos de corte (IPCC, 2019).

O setor produtivo agropecuário e mudança de uso da terra contribuem aproximadamente com um quinto das emissões totais das atividades humanas (IPCC, 2019). No Brasil, as emissões de GEE brutas em 2020 se destacaram por algumas fontes. A agropecuária

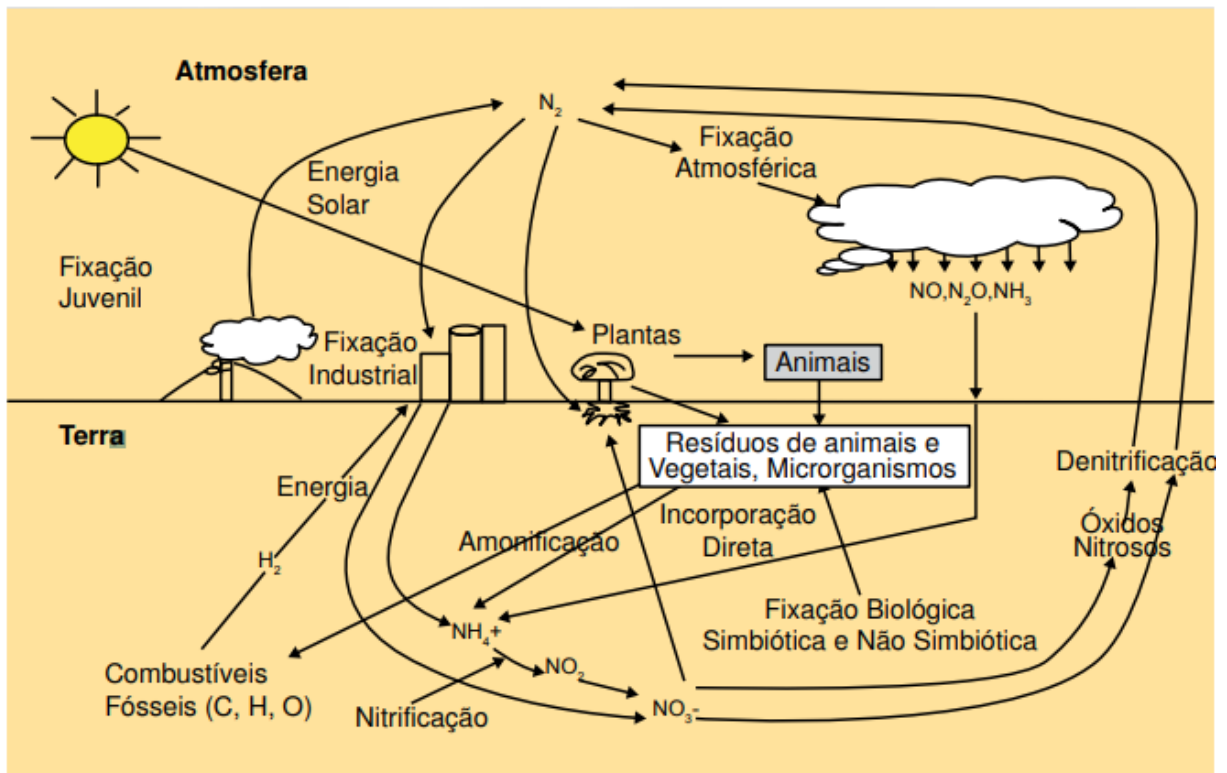
representada por 27%, a energia por 18%, processos industriais por 5%, resíduos por 4% e a mudança de uso da terra responsável pela maior parte das emissões de GEE, sendo 46% do total bruto (SEEG, 2021). O setor agropecuário apresenta, principalmente, emissões por CO₂, CH₄ e N₂O, sendo que o efeito desses gases nas mudanças climáticas dependerá da concentração, abundância e potencial de aquecimento (EPA, 2020).

Ao se analisar individualmente os gases citados, é possível entender a contribuição de cada um deles na cadeia. No contexto da pecuária, o metano é um gás de particular importância (BROUCEK, 2018). Segundo o MCT (2010), o fator de emissão pela fermentação entérica para gado de leite, seria em média de 61 kg de CH₄/cabeça/ano. Os ruminantes, incluindo os bovinos, ovinos e caprinos, apresentam-se como a principal fonte de emissão de CH₄ por fermentação entérica e fermentação de esterco (BROUCEK, 2018). A participação dos ruminantes é de aproximadamente 70% das emissões totais de CO₂-eq. do setor pecuário, gerados principalmente por bovinos (IPCC, 2019).

As práticas aplicadas de manejo do gado e a alimentação são determinantes para os resultados das emissões originadas pela fermentação entérica (MAKKAR, 2016). Animais com dietas balanceadas e constituídas de alimentos menos fibrosos (concentrados) ou com fibras mais digestíveis tendem a produzir menos metano no rúmen, situação encontradas em sistemas de confinamento (MCT, 2010). Uso de aditivos alimentares, plantas contendo taninos (STEWART et al., 2019), gordura, óleos alimentares (GRAINGER e BEAUCHEMIN, 2011) e seleção genética para o consumo alimentar residual (BASARAB et al., 2013) podem também ser alternativas para reduzir as emissões por metano.

As emissões de óxido nítrico (N₂O) são causadas principalmente pela nitrificação e desnitrificação, exemplificados na Figura 1, envolvidas na atividade microbiana, combustão de combustível fóssil e combustão de biomassa (EMBRAPA, 2017). A nitrificação e desnitrificação são as principais formas de produção desse gás em solo de produção agrícola (LIU et al., 2019). Segundo o SEEG (2021), as principais fontes de emissões de N₂O na agropecuária brasileira são por dejetos e fertilizantes químicos (na produção de grãos e na pastagem).

Figura 1: Ciclos de nitrificação e desnitrificação do solo e da atmosfera



Fonte: Gomes et al.² (2000, apud EMBRAPA, 2017).

Algumas práticas, como uso de esterco animal, adubação verde e compostagem, podem ser adotadas no sistema de produção para diminuir o uso de fertilizantes a base de nitrogênio e fósforo (COSTA et al., 2022). Ademais, os fertilizantes sintéticos podem ser substituídos por biológicos, como os encontrados em compostos à base de nitrogênio, derivados da fixação biológica do nitrogênio da atmosfera de plantas leguminosas, e pela ciclagem do fósforo a partir de resíduos derivados de fazendas ou agroindústrias (CARVALHO et al., 2022).

De acordo com a FAO (2021b), o CO_2 é proveniente, principalmente, de mudanças no uso da terra e queima de combustíveis. Mudanças no uso da terra podem alterar as características de fontes e sumidouros de dióxido de carbono, bem como outros gases, principalmente quando florestas ou pastagens são convertidas em terras para agricultura (POEPLAU e DON et al., 2013). Falta de nutrientes, exposição à seca ou quaisquer outras mudanças referentes ao manejo da terra podem influenciar na taxa de conversão de carbono orgânico em dióxido de carbono, por lixiviação ou respiração, podendo alterar a concentração de carbono no solo (HARRISON et al., 2021).

² GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 18, p. 50 2000.

Dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq.) é uma métrica usada para uniformizar as emissões dos gases com base no valor correspondente de cada gás, em relação ao CO₂. Para realizar o cálculo do CO₂-eq., é utilizado a conversão do GWP, proposto pelo IPCC para cálculos em inventários, dentro do horizonte de 100 anos. Os valores de referência para GWP estão no *Fourth Assessment Report* (AR4), também encontrado no *Fifth Assessment Report* (AR5) com adaptações (IPCC, 2007; IPCC, 2013), apresentados na tabela 1. A soma das emissões resulta na determinação da pegada de carbono³.

Tabela 1. Valores do GWP dos gases de efeito estufa, segundo o AR4 (IPCC).

Gás	GWP-100	
	AR4	AR5
Dióxido de carbono (CO₂)	1	1
Metano (CH₄)	25	28
Óxido nitroso (NH₄)	298	265

Fonte: Adaptado de IPCC (2007; 2013)

Estima-se que o metano seja responsável por causar cerca de 30% dos efeitos do aquecimento global (CACC, 2021). O aumento da produção e emissão do gás metano teve início na época pré-industrial e tem se intensificado desde o início dos registros, em 1980 (CACC, 2021). O GWP deste gás é significativamente maior em comparação ao do CO₂ em curtos períodos, devido à sua capacidade de reter calor, mas diminui com o passar dos anos, devido ao seu tempo de vida relativamente curto na atmosfera (PINTO, 2022). Em relação a um período de 20 anos, o GWP do metano é aproximadamente 84 a 87 vezes maior do que o do CO₂. Considerando um período de 100 anos, o GWP do metano é cerca de 28 a 36 vezes maior do que o do CO₂ (ENERGY, 2022). Essa escala temporal permite uma compreensão do impacto imediato e significativo do metano no aquecimento global e nas mudanças climáticas (EEA, 2023).

É essencial considerar a redução das emissões de metano, juntamente com outras fontes de gases de efeito estufa, para enfrentar efetivamente o desafio das mudanças climáticas e limitar o aumento da temperatura global (EEA, 2023b). O controle das emissões de metano provenientes de atividades humanas, como a pecuária e a produção de energia, pode desempenhar um papel importante na mitigação do aquecimento global (FAO, 2018a). Além

³ Pegada de carbono é uma medida quantitativa que avalia o impacto ambiental das atividades humanas, produtos, serviços ou processos em termos de emissões de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂-eq. (EMBRAPA, 2023).

disso, a compreensão do papel do metano em diferentes escalas temporais é crucial para desenvolver estratégias de mitigação mais eficazes e direcionadas (IVANOVICH et al., 2023).

3.3.1. Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa

Os inventários são fontes de informações quantitativas e qualitativas para a gestão das emissões de gases (LATIFI e HEURICH, 2019). A elaboração de inventários de GEE é o primeiro passo para as organizações que querem participar do combate das mudanças climáticas e mostram ser um importante instrumento para entender os comportamentos das emissões e suas fontes (CASTRO et al., 2020). As medidas para mitigar gases só serão eficazes para o cumprimento das metas de redução se os resultados forem continuamente reportados nos inventários de emissões nacionais (AMON et al., 2021).

Os cálculos são realizados a partir da multiplicação dos dados da atividade analisada com fatores de emissão, que destinam-se a representar as taxas de emissão de cada uma dessas práticas (AMON et al., 2011). Eles podem ser construídos com base em estimativas de emissões de produção ou consumo. Os inventários baseados em produção, usualmente, são realizados dentro de uma área geograficamente definida (CASTRO et al., 2020).

Além disso, ao realizar inventários de GEE, as organizações podem encontrar oportunidades no mercado de carbono, acessar investimentos, ou construir projetos que garantam eficiência econômica, energética ou operacional. A atuação das empresas neste tema, demonstra a responsabilidade perante a sociedade e proporciona visibilidade e transparência ao compromisso no combate das mudanças climáticas (FGV, 2008). Os relatórios de inventário de emissões são importantes ferramentas de reporte para mostrar o resultado das medidas de mitigação (AMON et al., 2021).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) é o órgão internacional para avaliar a ciência referente às mudanças do clima. Foi criado em 1988 pelo *World Meteorological Organization (WMO)* e o *United Nations Environment Programme (UNEP)* com o intuito de formular políticas baseadas em avaliações científicas, técnicas e socioeconômicas sobre as mudanças climáticas, para estimar os impactos, as projeções futuras, e estratégias de adaptações e mitigação. Essas diretrizes são importantes para tomada de decisão de governos ao desenvolverem suas políticas e que serão reportadas à *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* (IPCC, 2018).

O IPCC desenvolveu diretrizes para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa com metodologias para estimar, através dos inventários, as emissões antrópicas por fontes e

sequestros por sumidouros de GEE. A Força Tarefa é responsável por desenvolver e refinar a metodologia para o cálculo, relatório de emissões e sequestros para os inventários nacionais de GEE (IPCC, 2006).

Com o objetivo de desenvolver inventários nacionais de qualidade e que pudessem ser comparados entre si, foi desenvolvido pelo IPCC princípios e procedimentos metodológicos. Dentro disto, estabeleceu o conceito dos “Tiers” (níveis), divididos em três tipos, de acordo com a quantidade de informação necessária e o grau de complexidade analítica. O Tier 1 é utilizado quando não há disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país ou existe limitações quanto aos dados de atividade. Então, o IPCC disponibiliza parâmetros para realizar os cálculos. O Tier 2 geralmente usa a mesma abordagem metodológica como Tier 1, mas é aplicado quando se têm fatores de emissão e outros parâmetros específicos do país ou região. As emissões específicas do país e parâmetros são os mais apropriados para as florestas, regiões climáticas e sistemas de uso da terra do país. E o Tier 3 apresenta ser a abordagem mais detalhada e é utilizado para o uso de procedimentos metodológicos desenvolvidos especificamente pelo país, podendo incluir modelagem ou maior detalhamento dos inventários (IPCC, 2006).

Existem algumas metodologias aceitas para a construção de inventário de GEE corporativos, de projetos ou de produtos no Brasil, sendo ISO 14064 e o GHG Protocol. A norma técnica ISO 14064 (ABNT, 2007) especifica os princípios e condições para planejar, desenvolver, gerenciar e relatar inventários de emissões de GEE, para organizações e empresas. Inclui exigências para determinar os limites de fontes de emissão de GEE, quantificar emissões e remoções e gerenciar os GEE. Também abrange requisitos e orientação sobre a qualidade do gerenciamento do inventário, a elaboração de relatórios, a auditoria interna e as responsabilidades da organização na verificação de atividades.

Reconhecida internacionalmente, denominada *Greenhouse Gas (GHG) Protocol*, foi desenvolvida em 2001 pelo *World Resources Institute (WRI)*, em conjunto com o *World Business Council for Sustainable Development (WBSCD)*, fornece padrões, orientações, ferramentas e treinamentos para empresas e governos na mensuração e administração de emissões que contribuem para o aquecimento do clima. O WRI e o WBSCD desenvolvem protocolos há mais de 13 anos. Esta metodologia é compatível com o padrão *International Organization for Standardization (ISO) 14064* e segue os métodos de quantificação do IPCC. Presente no mundo todo, o *GHG Protocol* trabalha com múltiplas instituições na construção de programas para auxiliar no combate das mudanças climáticas (GHG PROTOCOL, 2004).

No Brasil, foi criado o Programa Brasileiro GHG Protocol em 2008, dando origem a uma ferramenta de cálculo de emissões, com o objetivo de incentivar as empresas na elaboração de inventário de emissões de forma voluntária, adaptado para a realidade brasileira, com acesso a normas, ferramentas e treinamentos. A publicação dos inventários acontece pela plataforma online, denominada Registro Público de Emissões. A versão brasileira do programa é administrada pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces) (FGV, 2008).

Segundo Dinato (2022), em seu estudo que buscou analisar os principais métodos de contabilização de gases de efeito estufa existentes no mundo, sob a ótica do ciclo de vida, a ISO 14.064 possui apenas 20 páginas e não fornece com clareza as melhores práticas para a realização do inventário de emissões. Essa ISO incorpora muitos conceitos e disposições presentes no GHG Protocol, não apresentando diferencial na padronização dos inventários. Enquanto o GHG Protocol é o método mais conhecido e utilizado no mundo para a contabilização de emissões de GEE, apresentando ser estruturado e consolidado, estando presente em países como Brasil, China, Índia, México, Filipinas e Canadá.

3.3.2. Estimativa do balanço de gases do efeito estufa para produção leiteira e produção vegetal

O setor agropecuário enfrenta o desafio de limitar o aquecimento global sem prejudicar a produção de alimentos (QUERESHI et al., 2016; FAO, 2018). Diante deste cenário preocupante, há uma busca crescente por investimentos que visam a mitigação e/ou redução das emissões de GEE, por meio da adoção de novas ferramentas e tecnologias a serem empregadas no manejo agrícola (EIB, 2012). Neste contexto, estimar as emissões de GEE de setores específicos, como a produção pecuária leiteira e monoculturas agrícolas, é crucial para identificar as oportunidades de redução destas emissões (GHG PROTOCOL, 2022).

Sabe-se que o balanço exato das emissões varia com base em fatores como as práticas de gestão, o tipo de cultivo, o sistema de produção e a localização geográfica da propriedade (PRADHAN et al., 2019). Esta variação resulta das disparidades encontradas em cada fazenda de produção pecuária, pois são influenciados pela espécie animal, alimentação, clima, tipo de solo e práticas de manejo (SHENG et al., 2022). E variam igualmente na área da agricultura, uma vez que a capacidade de captura de carbono depende da vegetação, tipo de raiz, tempo de permanência da cultura entre outros fatores (BAI et al., 2022).

Ao considerar a pecuária de leite, os estudos tendem a se concentrar no impacto destes gases, avaliar dados primários e alimentar modelos matemáticos que simulam os processos de fermentação entérica, decomposição de esterco, produção de alimentos (ROTZ, 2018) e outros aspectos regionais que alteram o balanço das emissões (IVANOVICH et al., 2023). A implantação de sistemas integrados, como sistemas integrados lavoura-pecuária (ILP) e ILPF, surgem como medida mitigadora neste contexto (GIL; GARRET; BERGER, 2016).

Modelar as emissões de GEE de uma fazenda tem como resultado a determinação da pegada de carbono de todas as emissões, expressa em CO₂-eq. (EMBRAPA, 2023). No entanto, ainda existem divergências entre estudos quanto à padronização das unidades de medida para quantificar os GEE nas propriedades analisadas (ROTZ, 2018). A abordagem adotada por Bell et al. (2011), estima a pegada de carbono do leite ao calcular a relação entre as emissões de gases de efeito estufa (expressas em CO₂-eq.) e a produção de energia corrigida para o leite (ECM). A ECM considera o conteúdo de gordura, proteína e lactose no leite, ponderando cada componente de acordo com sua contribuição calórica (BELL et al., 2011).

A métrica *fat and protein corrected milk equivalente* – FPCM, traduzida para o português como Equivalente de Leite Corrigido para Gordura e Proteína, também é utilizada em estudos envolvendo as pesquisas com vacas de leite e emissão de GEE (GERSSEN-GONDELACH et al., 2017). Esta é uma métrica padronizada na indústria de laticínios para comparar a produção de leite entre vacas, raças ou rebanhos distintos (ROTZ, 2018). Ele ajusta o rendimento de leite para uma quantidade equivalente com teor de gordura e proteína uniforme, permitindo comparações justas ao considerar variações na composição do leite (PLACE; MITLOEHNER, 2021). Enquanto o FPCM se concentra nas proporções de gordura e proteína para calcular o valor do leite, o ECM leva em consideração o valor energético das diferentes composições nutricionais. (ROTZ, 2018; PLACE; MITLOEHNER, 2021).

Para a medida do cálculo de CO₂-eq., recomenda-se de 25 a 28 kg de CO₂-eq. por kg de CH₄ e 298 kg de CO₂-eq. por kg de N₂O tendo como base os últimos 100 anos (IPCC, 2007; IPCC, 2013). No entanto, variações podem ser encontradas entre diferentes autores e fontes de informação. Place e Mitloehner (2021) citam o valor de 34 kg de CO₂-eq. por kg de CH₄, o que difere das recomendações do IPCC. A variação nos valores pode ocorrer devido a diferentes abordagens metodológicas, considerações temporais ou outras considerações específicas de cada estudo (ROTZ, 2018). Apesar destas variações, essas métricas fornecem informações valiosas para avaliar as emissões de GEE e comparar sistemas de produção.

As emissões de GEE em fazendas leiteiras bem gerenciadas encontram-se geralmente entre 0,8 e 1,2 kg de CO₂.e por kg de leite (ROTZ, 2018). Thoma et al. (2013), analisou as

emissões GEE na cadeia produtiva de leite nos EUA, desde a produção de fertilizantes até o consumo e descarte de embalagens. Com base em dados de 2007-2008, provenientes de fontes públicas e 536 pesquisas agrícolas. Também foram coletados dados de processamento de leite de 50 fábricas de laticínios em todo o país. As emissões totais foram de 2,05 kg CO₂-eq/kg de leite, com intervalo de confiança de 90% entre 1,77 e 2,4 kg CO₂-eq/kg de leite. Deste modo o setor de laticínios contribuiu com 1,9% das emissões totais de GEE nos Estados Unidos da América (EUA) sendo a produção de ração, metano entérico e gerenciamento de esterco os setores críticos.

Hörtenhuber et al. (2010), desenvolveu modelos para oito sistemas de produção (PS) austríacos diferentes, utilizando o Microsoft Excel para cálculos. Sua localização regional incluía região alpina, terras altas, terras baixas e método de produção (convencional⁴ vs. orgânicos⁵), incluindo sistemas tradicionais e emergentes de produção de laticínios baseados em pastagens. Para sistemas de produção convencional, as emissões de GEE por quilograma de leite variaram de 0,90 a 1,17 kg de CO₂-eq. (CO₂-eq./kg), enquanto os sistemas orgânicos emitiram em média 11% menos GEE, variando de 0,81 a 1,02 CO₂-eq./kg de leite. A maior produção de leite geralmente levou a melhores resultados em termos de emissões de GEE por Kg de leite, enquanto sistemas de menor produção de leite apresentaram resultados melhores em termos de emissões de GEE por hectare de terra utilizada. Sistemas convencionais variaram de 5,2 a 7,6 kg de CO₂-eq.ha/ano, e sistemas baseados na agricultura orgânica variaram de 4,2 a 6,2 kg de CO₂-eq.ha/ano.

A diferença entre a produção convencional e orgânica é maior para sistemas baseados em pastagens devido, por exemplo, ao não uso de fertilizantes sintéticos na produção orgânica. (HÖRTENHUBER et al., 2010). Kristensen et al. (2011) e Olesen et al. (2006) constataram, para sistemas integrados de produção de leite o valor de 0,07 kg de CO₂-eq./kg de FPCM, e as emissões da produção orgânica são de 0,14 kg de CO₂-eq./kg de FPCM mais altas do que a produção convencional.

O estudo conduzido por Bell et al. (2011) comparou o impacto ambiental de diferentes sistemas de produção de laticínios em relação às emissões de CO₂-eq. e ao uso da terra no Reino

⁴ Sistema convencional envolve práticas intensivas, como confinamento em instalações fechadas ou pastagens de manejo intensivo. É aceitável o uso de insumos químicos visando aumentar a produtividade do pasto.

⁵ Sistemas orgânicos referem-se a métodos de produção agrícola que buscam minimizar o uso de insumos sintéticos, como pesticidas, herbicidas e fertilizantes químicos, em favor de práticas mais naturais e sustentáveis. No contexto da produção de alimentos, incluindo laticínios, um sistema orgânico envolve a adoção de técnicas que promovem a saúde do solo, a biodiversidade, o bem-estar animal e a segurança alimentar, enquanto reduzem o impacto ambiental negativo (EMBRAPA et al., 2018).

Unido. O cálculo foi realizado por meio do modelo matemático denominado cadeia de Markov, usando dados experimentais envolvendo vacas da raça Holstein-Friesian sujeitas a diferentes sistemas de alimentação e seleção genética, enquadrados no Tier II. Vacas com alta produção de gordura e proteína do leite foram usadas como linhagem controle (C) e vacas selecionadas para aumentar esta produção como linhagem selecionada (S). Dietas com baixo teor de forragem (LF) e alto teor de forragem (HF) foram usadas para ambos os grupos (C e S). As emissões de CO₂-eq. foram determinadas em ECM e por hectare de uso da terra. No sistema de LFC, as emissões foram calculadas em 10.934 kg de CO₂-eq. e o uso da terra foi de 0,69 hectares por animal. No sistema LFS, as emissões totalizaram 11.894 kg de CO₂-eq. e o uso da terra foi de 0,74 hectares por animal. Quanto ao sistema HFC, as emissões foram estimadas em 10.446 kg de CO₂-eq. e o uso da terra foi de 0,94 hectares por animal. Por fim, no sistema HFS, as emissões alcançaram 11.301 kg de CO₂-eq. e o uso da terra foi de 1,00 hectare por animal. O balanço médio dos GEE encontrado neste estudo foi de 11,114 kg de CO₂-eq. (BELL et al., 2011).

Os resultados obtidos por Bell et al. (2011) demonstraram que houve também uma redução média de aproximadamente 6,5% nas emissões de CO₂-eq. e no uso da terra pelo rebanho. Cerca de 4% desse decréscimo pôde ser atribuído à seleção genética. Em várias abordagens de produção, aprimoramentos na eficiência de aproveitamento dos alimentos também conduziram a diminuições nas emissões de CO₂-eq./kg de ECM e por hectare, influenciando igualmente na quantidade de área necessária para o rebanho (BELL et al., 2011). Exaltar a importância da eficiência alimentar como um fator determinante na redução das emissões GEE na produção de leite estimula a investigação mais profunda sobre o impacto direto da dieta, com foco especial no teor de fibra em detergente neutro (FNDF), nas emissões de GEE provenientes do esterco (UDDIN et al., 2020).

Através da aplicação do método da câmara estática, que captura gases liberados pelo solo, foi realizada uma análise do esterco proveniente de vacas Holandesas e Jersey, alimentadas com diferentes dietas. O armazenamento e a aplicação do esterco foram monitorados durante 50 dias de armazenamento e 50 dias (primavera e outono) após a aplicação no solo do esterco coletado de 4 vacas Holandesas e 4 vacas Jersey. A alimentação era dividida em silagem de alfafa ou silagem de milho com dietas de baixo teor de fibra em detergente neutro (FNDF) ou alto teor de FNDF. A composição do esterco foi influenciada pela dieta e pelo teor de FNDF, mas não pela raça. As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O não variaram muito, exceto as emissões de CO₂, que foram maiores com alto FNDF. As emissões de GEE foram menores durante o armazenamento comparado à aplicação no solo, e o N₂O foi mais alto na primavera.

Na dieta, as emissões horárias de CO₂, CH₄ e N₂O e cumulativas (mais de 50 dias de armazenamento ou mais de 50 dias após a aplicação no solo) não sofreram mudanças, exceto pela propensão de emitir 22% CO₂ de esterco por vacas alimentadas com alto FNDF em relação ao tratamento com baixo FNDF. As emissões cumulativas de CH₄ e N₂O apresentaram ser 25 vezes e 19 vezes, respectivamente, menores no armazenamento do que na aplicação do solo, e o N₂O foi maior 17 vezes durante a primavera do que o outono (UDDIN et al., 2020).

Após analisar a influência do teor de FNDF na emissão de GEE pelo esterco, é possível explorar como diferentes sistemas de produção, incluindo sistemas integrados que combinam criação de gado com cultivo agrícola ou áreas florestais, podem influenciar as emissões de GEE de maneira geral (GERSSEN-GONDELACHARTIGO, 2017).

Gerssen-Gondelach (2017), investigou as emissões de CO₂-eq./kg de leite ou carne produzida. O estudo comparou 72 trabalhos de 31 publicações, ao considerar apenas a produção de leite, desde todos os processos a montante na produção até o ponto em que os animais ou produtos deixam a fazenda. As principais fontes de emissão consideradas foram: a fermentação entérica, o manejo de esterco, produção de alimentos, emissões indiretas da produção de insumos agrícolas, do consumo de energia e do uso da terra. Em conclusão, a análise das emissões de GEE e do uso da terra na produção de laticínios e carne bovina revela a importância tanto da intensificação dentro de sistemas baseados em pastagens quanto da transição para sistemas integrados associando a pecuária a outras culturas.

Ao comparar sistemas de produção integrados, compostos pela integração de áreas de vegetação nativa e/ou culturas e pecuária, Hörtenhuber et al. (2010) e Bell et al. (2011) encontraram que as emissões são 0,10-0,13 kg de CO₂-eq/kg de FPCM ou 8-14% menores em sistemas que alcançam maiores produções de leite. Por outro lado, de acordo com O'Brien et al. (2010), as emissões em sistemas baseados em pastagens e sistemas integrados a culturas de sorgo e leguminosas estão compreendidas entre 0,05-0,14 kg de CO₂-eq/kg de FPCM. O que equivale a 5 a 16% de emissões mais altas para vacas selecionadas exclusivamente para alta produção de leite em comparação com vacas selecionadas para aumento de produtividade e fertilidade. A diferença ao avaliar vacas de mesma linhagem genética é maior para sistemas baseados em pastagens (O'BRIEN et al., 2010).

Além disso, Haas et al. (2001) indicam que as emissões de um sistema integrados intensivo são 0,30 kg de CO₂-eq/kg de FPCM (30%) mais altas em comparação com um sistema integrado extensivo. O trabalho foi conduzido na Bavaria, estado da Alemanha, em seis fazendas de cada sistema (intensivistas, extensivistas e produção orgânica). O levantamento de dados foi feito por meio de questionário aplicado aos agricultores na forma de entrevistas

realizadas durante visita às fazendas. Nota-se que o GWP relacionado à área diminui para fazendas intensivas (9,4 t CO₂ ha⁻¹), extensivas (7,0 t CO₂ ha⁻¹) e orgânicas (6,3 t CO₂ ha⁻¹), indicando que as fazendas orgânicas têm a menor pegada de carbono por área. No que diz respeito ao uso de energia em relação ao produto, as fazendas extensivas (1,0 t CO₂ ha⁻¹) apresentam o menor GWP significativo, enquanto fazendas intensivas e orgânicas (1,3 t CO₂ ha⁻¹) têm emissões comparáveis. É importante notar que as emissões mais baixas de CO₂ e N₂O nas fazendas orgânicas avaliadas neste estudo são contrabalançadas por uma emissão maior de CH₄ por unidade de leite produzido, devido ao menor desempenho de produção de leite nessas fazendas. (HAAS et al., 2001).

Em 2021, Schettini et al. (2021) conduziram em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, uma avaliação do balanço de carbono em um sistema silvipastoril com pecuária semi-intensiva com o objetivo de quantificar as emissões por unidade de leite produzido, com comparação anual das emissões de GEE com o aumento do carbono. O sistema contava com o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, pasto composto por *Brachiaria decumbens* e plantel de vacas mestiças. A partir dos dados do volume de madeira pelo inventário florestal, a densidade e fator de teor de carbono da madeira, foi estimado o estoque de carbono do sistema. Foram considerados os fatores de emissões da fermentação entérica, manejo de dejetos, energia elétrica, consumo de combustível, fertilização nitrogenada e a calagem. Os resultados mostraram que as emissões médias por ano foram de 5,817 Mg CO₂-eq.ha/ano e o estoque de carbono média por ano foi de 7,631 Mg CO₂-eq.ha/ano. Neste estudo o sistema silvipastoril contribui para mitigação de emissões na produção leiteira.

Enquanto a intensificação pode resultar em reduções significativas de GEE, a adoção de sistemas integrados não só reduz as emissões, mas também desencadeia uma mitigação importante das mudanças no uso da terra e suas implicações (HÖRTENHUBER et al., 2010). Essa estratégia é especialmente relevante em países em desenvolvimento, onde a mitigação da mudança no uso da terra é crucial para enfrentar os desafios ambientais (GERSSEN-GONDELACH et al., 2017). Contudo, é evidente que a maior parte dos estudos atuais se concentra nos países desenvolvidos, enquanto as regiões em desenvolvimento apresentam os maiores desafios e potenciais de mitigação (IVANOVICH et al., 2023). Para uma compreensão global abrangente, é imperativo que mais pesquisas sejam dedicadas a essas regiões.

Valores médios de emissões de GEE variam de acordo com as condições específicas de cada sistema de produção, incluindo fatores como manejo, alimentação, raça do gado e localização geográfica (GERSSEN-GONDELACH et al., 2017). À medida que os estudos buscam melhorar a modelagem de emissões de GEE na escala da fazenda, fica evidente a

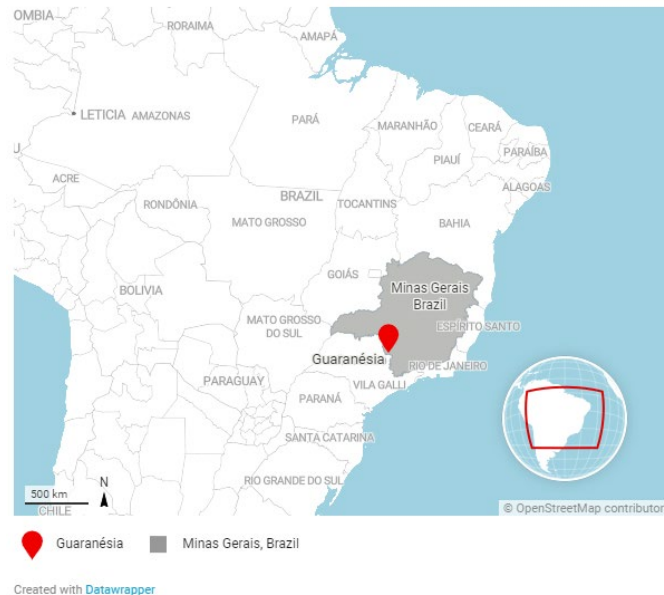
necessidade de mais dados para apoiar o desenvolvimento e avaliação de modelos de cálculo de emissões de carbono, bem como modelos mais precisos e robustos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROPRIEDADE DE ESTUDO

A coleta de dados, análises e demais avaliações foram realizadas entre os meses de janeiro a abril de 2023, na Fazenda Gordura localizada na zona rural do município de Guaranésia (Figura 3), região sul do estado de Minas Gerais ($21^{\circ}20'19,35''$ S, $46^{\circ}52'04,31''$ O). A vegetação nativa pertence ao bioma Mata Atlântica⁶ e o solo da região foi identificado como argiloso⁷ segundo a classificação da região sul e sudeste do estado de Minas Gerais, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1980). Estas informações foram inseridas na base de dados das ferramentas GHG Protocol e CFT, e influenciam no cálculo das emissões de GEE.

Figura 2. Localização da área de estudo em Guaranésia, Minas Gerais, Brasil



⁶ Mata Atlântica é reconhecida como a floresta com maior biodiversidade do mundo. Possui formações de florestais nativas (Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista ou Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual), e ecossistemas associados (manguezais, vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste). Estende-se ao longo da costa Atlântica do Brasil, para o oeste até porções leste do Paraguai e nordeste da Argentina (BRASIL, 2023).

⁷ Solo argiloso é o solo com mais de 30% de argila em sua composição, formado por microporos em sua maioria (EMBRAPA, 1980)

Fonte: Elaborado pela autora (gerado por Dataweapper)

A propriedade possui uma área total de 171 hectares e é a pioneira na região a implantar o modelo de sistema de integração pecuária-floresta, caracterizado por pequena produção. A tabela a seguir mostra a divisão da área total de acordo com o uso da terra na propriedade em estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição da propriedade

Descrição	Unidade	Quantidade
Área Construída	Hectares	12
Eucalipto	Hectares	5
Pastagem Irrigada	Hectares	10
Sistema Silvistoril	Hectares	3
Pastagem	Hectares	16
Grãos	Hectares	75
Área de APP e Reserva Legal	Hectares	45
Carreadores	Hectares	5
Área Total	Hectares	171

Fonte: Elaborada pela autora.

Na área que está localizado o sistema silvistoril, ocupada pelos animais lactantes, completando 3 anos de implantação, encontram-se espécies arbóreas madeireiras e frutíferas (Tabelas 3 e 4), leguminosas como Feijão-guandú e Crotalária e pasto formado com Capim-Mombaça e Xaraés. A madeira produzida na fazenda seria destinada posteriormente a venda.

Tabela 3. Espécies arbóreas madeireiras e frutíferas da área silvistoril.

	Nome	Nome Científico
Espécies Frutíferas	Araçá-roxo	<i>Psidium myrtoides</i>
	Araçá-amarelo	<i>Psidium cattelanum</i>
	Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>
	Cereja do Rio Grande	<i>Eugenia involucrata</i>
	Uvaia	<i>Eugenia pyriformis</i>
	Ingá-mirim	<i>Inga laurina</i>
	Ingá-cipó	<i>Inga edulis ou Inga uruguensis</i>
	Macadâmia	<i>Macadamia integrifolia</i>
Espécies Madeireiras	Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>
	Angico-branco	<i>Anadenanthera colubrina</i>
	Angico-vermelho	<i>Anadenanthera macrocarpa</i>
	Canafistula	<i>Peltophorum dubium</i>
	Ipê Rosa	<i>Handroanthus avellanadae</i>
	Mutambo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
	Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>
	Angico-branco	<i>Anadenanthera colubrina</i>

Fonte: Elaborada pela autora.

Na área total destinada aos grãos, 45 hectares foram ocupados para produção de milho e parte desta plantação é destinada à alimentação dos animais. A safra de 2021 teve início no mês de janeiro e foi colhida no mês de maio.

Na área destinada ao Eucalipto, são encontradas um híbrido de espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. O produtor iniciou o plantio em 2010 e a área permanece até hoje intocada. A propriedade possui 45 hectares de mata, sendo divididos em Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal.

O plantel da propriedade é da raça Girolando e Jersey, com o total 125 animais, sendo divididos em 45 vacas lactantes, 4 vacas vazias, 55 novilhas e 6 bezerras. A produção média de leite por dia é de 800 litros. Em média, a produção de leite por animal é de 17 litros.

A alimentação dos animais, dividida em 2 tratos ao dia, era composta por silagem de milho, núcleo Cooxupé (cooperativa da região em que a fazenda está localizada), fubá, ureia e farelo de soja.

4.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de formulários para o GHG Protocol módulo Agricultura (ANEXO A), para o módulo Floresta (ANEXO B) e a Cool Farm Tool (ANEXO C), sendo levantadas todas as informações para calcular as emissões entre os meses de janeiro e dezembro de 2021.

As informações coletadas para o inventário de agricultura, pecuária e pastagem, utilizando a ferramenta do GHG Protocol Agricultura e Cool Farm Tool, abrangem características do solo, diagnóstico de degradação da pastagem, adubação utilizada, operações mecanizadas utilizadas, informações sobre o rebanho, manejo de dejetos, consumo de energia e consumo de combustíveis fósseis.

Para a realização do inventário pela ferramenta GHG Protocol Florestas, incluindo área silvipastoril, área do Eucalipto, Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal, com a descrição das espécies implantadas, foram coletadas informações sobre características do solo, quantidades de árvores por hectare, espaçamento das árvores, queima de biomassa por incêndio, adubação utilizada, condição ou correção de solo, corte ou desbaste e consumo de combustíveis fósseis.

4.3 CÁLCULOS

Os cálculos são realizados a partir da multiplicação dos dados da atividade analisada com fatores de emissão correspondentes.

4.3.1 GHG Protocol Agricultura e Florestas

As ferramentas utilizadas no estudo utilizam a metodologia do GHG Protocol (GHG PROTOCOL, 2004), denominadas “GHG Protocol – Agricultura” V. 3.11.5, e “GHG Protocol – Florestas” V. 1.12.1, e foram utilizadas em conjunto para mensurar os GEE da propriedade do estudo. Estas ferramentas foram idealizadas por meio da parceria entre o WRI, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Esta permite o cálculo das emissões de GEE utilizando metodologias específicas para a realidade brasileira e focadas em fontes de emissão mecânicas e não mecânicas. A ferramenta segue as diretrizes do IPCC e com os padrões ISO 14.064, que abrange os três gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (GHG PROTOCOL, 2014; GHG PROTOCOL, 2015).

Ambas as ferramentas permitem aos produtores e empresas das áreas da agricultura, pecuária, silvicultura, entre outras, mensurarem as suas emissões, reportarem ao mercado e traçarem um planejamento anual de mitigação de emissões de GEE em suas estratégias de produção. Os fatores de emissões são brasileiros e empregam o método de cálculo baseado na abordagem recomendada do IPCC e o inventário nacional de GEE, tudo em planilhas de Excel (WRI BRASIL, 2020).

Nas ferramentas, as emissões são divididas em 3 escopos e classificadas de acordo com o grau de responsabilidade ou controle da organização inventariante. Em escopo 1, estão as emissões diretas, ou seja, que pertencem ou são controladas pela organização, e são subdivididas em três: fontes mecânicas, fontes não mecânicas e mudanças de uso do solo. Em escopo 2 estão as emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica consumida. E em escopo 3 estão as emissões indiretas, ou seja, que apresentam estar fora dos limites da organização inventariada. Escopo 1 e 2 são de relato obrigatório, segundo as Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) (GHG PROTOCOL, 2015).

Seguindo os princípios e metodologias do IPCC, ambas as ferramentas buscaram utilizar sempre que possível o Tier 2, ou seja, dados específicos dos estados brasileiros. Somente na ausência de informações específicas, adotaram-se os valores de Tier 1 (GHG PROTOCOL, 2015; WRI BRASIL, 2020). Para a ferramenta GHG Florestas, o Tier 3 foi usado na ferramenta apenas para determinar a biomassa carbono da vegetação nativa (WRI BRASIL, 2020).

Para a realização dos cálculos no módulo Agricultura, foi utilizado as abas “Milho” e “Pastagem e Pecuária” para os cálculos com agricultura, pastagem e pecuária. Já para o módulo Florestas, foi utilizado a aba de “Eucalipto” e “Sistemas Agroflorestais” para os cálculos da área de eucalipto, área silvipastoril, APP e reserva legal. Para os primeiros cálculos da área de APP e Reserva Legal, foram considerados as mesmas espécies adicionadas na área silvipastoril. Entretanto, são importantes análises mais precisas das espécies presentes para não superestimar o sequestro pela área.

4.3.2 Cool Farm Tool

A Cool Farm Tool (CFT) é uma ferramenta europeia e começou a ser desenvolvida em 2008, a partir da parceria entre a Universidade de Aberdeen, o *Sustainable Food Lab* e a Unilever. Essa ferramenta determina as emissões de produções agrícolas e pecuárias através de modelos empíricos e fatores de emissão que consideram diferenças entre sistemas de produção, regiões e climas. A mesma foi desenvolvida primeiramente em planilha Excel e publicada por HILLIER et al. (2011), sendo que em 2012 passou a apresentar em formato on-line. Empregam o método de cálculo baseado na abordagem recomendada do IPCC.

A ferramenta apresenta uma interface interativa projetada para simplificar o uso, mas cientificamente robusta na mensuração dos gases. É adotada por diversas empresas juntamente com seus fornecedores para medir, gerenciar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa no esforço de mitigar as mudanças climáticas globais (CFT, 2022).

Para a contabilização das emissões e sequestros pelas culturas e o solo, a ferramenta é organizada em uma aba para todas as culturas, além de outra específica para a produção de batatas e outra para a produção de arroz. Já para a mensuração das emissões por animal, é possível utilizar a aba para gado de corte ou gado de leite ou, se desejar, analisar outra espécie. Existe uma aba só para essas informações (CFT, 2022). A ferramenta contempla os três gases (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) e segue os princípios e metodologias do IPCC, com Tier 1 e 2, além de algumas diretrizes do GHG Protocol (HILLIER et al., 2011).

A ferramenta possui uma aba para Métrica de Biodiversidade, que é usada para quantificar as boas práticas dentro das fazendas em termos de biodiversidade. Esta aba se aplica ao bioma de Floresta Temperada, como, por exemplo, norte da Europa e leste da América do Norte, e aos biomas de Mediterrâneo e Semiárido, como, por exemplo, bacia do Mediterrâneo, Califórnia, Chile, oeste da África do Sul e regiões semelhantes. Atualmente possuem apenas 11 grupos de espécies. Estão em processo de expansão da métrica para incluir biomas de Floresta

Tropical. Entretanto, ainda não disponível, não sendo possível ser utilizada no estudo (CFT, 2016).

Para a ferramenta Cool Farm Tool, foi utilizado a aba “Todas as Culturas”, dentro de “Plantações”, para estimar a contribuição do milho. Já para as emissões na produção de leite, foi utilizado a aba “Laticínios”, dentro do tópico “Gado”.

4.4 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Para a construção dos inventários, foi utilizado o modelo proposto pelo Programa Brasileiro de GHG Protocol (GHG PROTOCOL, 2015) contemplando informações sobre as fontes de emissões, os gases, os resultados das emissões/sequestros.

4.5 ANÁLISE DAS FERRAMENTAS

Após realizar a análise dos resultados de emissões e sequestros, foi realizada análise comparativa entre a ferramenta GHG Protocol Agricultura e Florestal, e a ferramenta Cool Farm Tool, entendendo quais são as disparidades e/ou semelhanças dos protocolos. Com isso, foi possível analisar as ferramentas abrangem ou não as particularidades do sistema de estudo. Os gráficos foram gerados a partir de análise estatística descritiva software Prima V. 8.0.

5. RESULTADOS

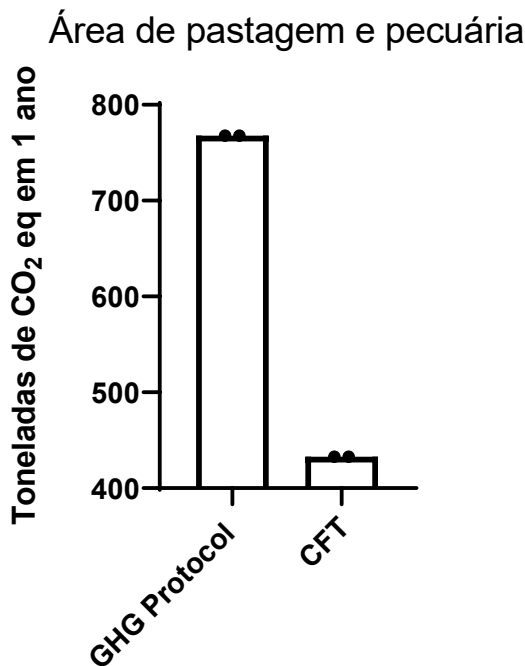
5.1 BALANÇO GERAL DAS EMISSÕES

O estudo indica uma diferença notável nos resultados de emissões de GEE entre as duas ferramentas de avaliação, o GHG Protocol e a ferramenta CFT. De acordo com o GHG Protocol, o balanço final da propriedade apresentou um resultado de -52,23 toneladas de CO₂-eq., o que sugere uma remoção líquida de gases de efeito estufa da atmosfera. Por outro lado, a ferramenta CFT indicou um balanço de emissões de -285,26 toneladas de CO₂-eq. na fazenda durante um ano.

5.2 PASTAGEM E PECUÁRIA

Analisando os resultados obtidos pelas ferramentas, a área de pastagem e pecuária, no GHG Protocol apresentou o balanço de emissões líquidas (emissões menos sequestros) de 767,86 toneladas de CO₂-eq. em um ano. Enquanto a mesma área calculada na CFT, apresentou em emissões líquidas de 432,74 toneladas de CO₂-eq. Observa-se que o GHG Protocol estimou uma quantidade maior de emissões líquidas em comparação com a ferramenta CFT para a mesma área de pastagem e pecuária ao longo de um ano (Gráfico 1).

Gráfico 1: Comparação entre GHG Protocol e CFT para área de pastagem e pecuária



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores a seguir representam as emissões de diferentes gases de efeito estufa associados à produção de pastagem e pecuária na propriedade avaliada, por meio da ferramenta CFT, bem como sua relação com a produção de proteína concentrada do leite FPCM por tonelada. Quanto à interpretação detalhada dos valores, observa-se que as emissões de N₂O provenientes do pastoreio somaram um total 0,136 toneladas. Não há emissões diretas de CO₂ ou CH₄ associadas a essa atividade. O total equivalente de emissões foi de 37,26 toneladas de CO₂-eq. para cada kg de FPCM produzido, houve uma emissão total de 0,13 toneladas de GEE.

A fertilização de pastagens não resultou em emissões diretas de CO₂, N₂O ou CH₄, portanto, não houve emissão por tonelada de FPCM associada a essa atividade. A produção de ração gerou 65,89 toneladas de CO₂, 0,122 toneladas de N₂O e 0,116 toneladas de CH₄,

totalizando um equivalente de 102,62 toneladas de gases de efeito estufa. Assim, a produção de cada quilograma de FPCM foi associada a uma emissão total de 0,35 toneladas de GEE.

A fermentação entérica não gerou emissões diretas de CO₂ ou N₂O, assim como o manejo de esterco, mas levou a um total de 10,10 toneladas de CH₄, resultando em um equivalente de 281,71 toneladas de emissões de GEE. Isso se traduz em uma emissão total de 0,95 toneladas de CO₂-eq./kg de FPCM produzido. Quanto ao manejo de esterco, contribui com 0,619 toneladas de CH₄, resultando em um total equivalente de emissões de 1,73 toneladas. O total de FPCM produzido está associado a uma emissão total de 0,01 toneladas de GEE.

Por fim, a energia e o processamento, assim como o transporte, não apresentaram emissões de N₂O ou CH₄. O equivalente total de emissões relativo à energia e transporte é 9,24 toneladas e 0,185 toneladas de CO₂, respectivamente. O equivalente total de emissões é 0,03 toneladas de FPCM para o setor de energia e processamento. No entanto, não há emissões associadas por quilograma de FPCM produzido com relação ao transporte. Os valores estão dispostos, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária gerado pela ferramenta CFT

Fontes	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Total de CO ₂ -eq	Por tonelada de FPCM
Pastoreio	0	0,136	0	37,26	0,13
Fertilização de pastagens	0	0	0	0	0
Produção de ração	65,89	0,122	0,116	102,62	0,35
Fermentação entérica	0	0	10,10	281,71	0,95
Manejo de esterco	0	0	0,619	1,73	0,01
Energia e processamento	9,24	0	0	9,24	0,03
Transporte	0,185	0	0	0,185	0

Legenda: Valores expressos em toneladas.

Fonte: Elaborada pela autora.

O total de emissões de GEE gerado no Escopo 1 pelo GHG Protocol é de 833,83 toneladas de CO₂-eq. Em média, a cada hectare de área cultivada, são emitidas 52,11 toneladas de CO₂-eq./ha. E por cabeça, são emitidas 6,72 toneladas de CO₂-eq./animal de GEE. Não há emissões registradas para o Escopo 2. As emissões no Escopo 3 totalizam 9,63 toneladas de CO₂-eq. Em média, a cada hectare de área cultivada, são emitidas 0,60 toneladas de CO₂-eq. Por unidade (cabeça), são emitidas 0,08 toneladas de CO₂-eq./animal de GEE no Escopo 3.

As emissões por processos biogênicos são de 0,12 toneladas de CO₂ e 0,01 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada. O total de emissões atribuídas a mudança de uso e ocupação do solo é de -66,08 toneladas de CO₂-eq., -4,13 por toneladas de CO₂-eq./ha de e -

0,53 toneladas de CO₂-eq./tonelada de carne produzida. Estes valores indicam as emissões de GEE associadas a diferentes aspectos da atividade, como a área cultivada, a unidade (cabeça) calculados em escopos específicos (Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3).

Os valores apresentados no balanço do GEE pelos cálculos realizados por meio da ferramenta GHG Protocol indicam que foram emitidas 767,86 toneladas de CO₂-eq. no total. Este resultado consiste nos valores apresentados acima das emissões de escopo 1, processos biogênicos e mudança de uso e ocupação do solo. Em relação à área, a emissão foi de 47,99 toneladas de CO₂-eq./ha. Considerando o número de animais, a emissão foi de 6,19 toneladas de CO₂-eq./animal. Isso sugere que área de pastagem e pecuária está contribuindo com emissões de gases de efeito estufa, com uma média de emissão por hectare e por animal.

Os valores detalhados por categoria apresentados pela ferramenta GHG Protocol foram apresentados a seguir. Para calagem, obteve-se o valor de 3,52 toneladas de CO₂-eq, referente às emissões associadas à aplicação de calcário para ajuste do pH do solo, o que pode afetar as emissões de GEE, especialmente devido às emissões de CO₂ durante a produção ou transporte do calcário. As emissões associadas à aplicação de fertilizantes orgânicos, resultaram em 15,38 toneladas de CO₂-eq., nesta categoria foram registrados 0,06 toneladas de N₂O, gerado durante o processo de combustão da matéria orgânica.

A lixiviação e o escoamento superficial geraram 1,44 toneladas de CO₂-eq., sendo 0,01 provenientes de emissões de N₂O. Estes são provenientes da lixiviação de nutrientes e escoamento hídrico que podem carregar poluentes orgânicos para os corpos d'água e contribuir para emissões provenientes de ambientes aquáticos. A deposição atmosférica de N volatilizado resultou em um total de 3,84 toneladas de CO₂-eq. As emissões de óxido nitroso nesta categoria foram equivalentes a 0,01 toneladas.

O sistema de manejo de resíduos da fazenda resultou em 137,00 toneladas de CO₂ equivalentes, predominantemente devido ao tratamento e eliminação de resíduos animais, como esterco, com 0,5 toneladas referente as emissões de N₂O. Além disso, as emissões específicas relacionadas ao manejo de dejetos de animais somaram 18,39 toneladas de CO₂-eq. com 0,65 provenientes da liberação de CH₄, refletindo as práticas de coleta e tratamento desses resíduos. Quanto às operações mecanizadas, foram geradas 0,45 toneladas de CO₂-eq., associadas ao uso de maquinaria agrícola e operações mecânicas na fazenda

A fermentação entérica foi a categoria que mais diferiu em relação aos resultados gerados pela CFT. Não foram geradas emissões diretas de CO₂ ou N₂O, assim como o manejo de esterco, mas foi registrado um total de 22,94 toneladas de CH₄, resultando em um equivalente de 653,81 toneladas de CO₂-eq. Para manejo de esterco foi registrado 18,39 toneladas de CO₂-

eq. Essas informações são valiosas para avaliar o impacto ambiental das atividades agrícolas e pecuárias e podem auxiliar na identificação de áreas de melhoria em termos de sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (Tabela 5).

Tabela 5: Distribuição de GEE produzidos pelo setor de pastagem e pecuária gerado pela ferramenta GHG

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO ₂ eq.)
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Calagem	-	3,52	0	0	3,52
Aplicação de ureia	-	0	0	0	0
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0	0	0
Adubação orgânica	-	0	0,06	0	15,38
Adubação Verde	-	0	0	0	0
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0,01	0	1,44
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0,01	0	3,84
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0
Sistema de manejo de dejetos	Tier 2	0	0,50	0	137,00
Manejo de dejetos de animais	-	0	0	0,65	18,39
Fermentação entérica	-	0	0	22,94	653,81
Operações mecanizadas	-	0,45	0	0,00	0,45
Estoque inicial do carbono na veg. nativa	-	0	0	0	0
Transporte na produção	-	0,59	0	0	9,63

Legenda: Valores expressos em toneladas.

Fonte: Elaborada pela autora.

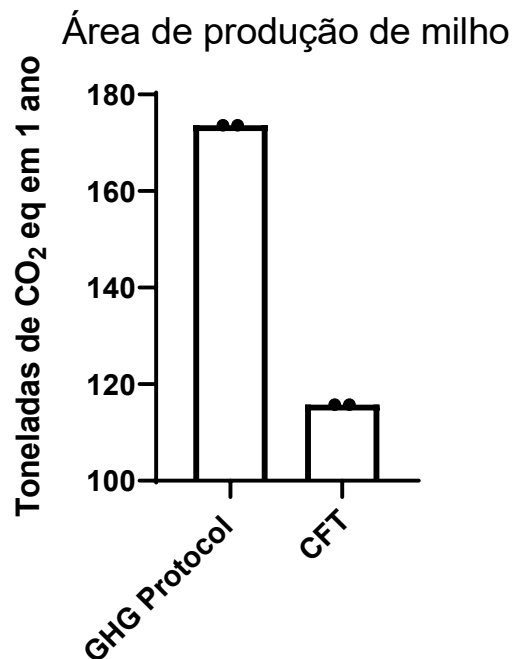
5.3 MILHO

A área de produção de milho, de acordo com o GHG Protocol, apresentou a importância de 173,62 toneladas de CO₂-eq. em um ano, e o valor de 108,12 toneladas de CO₂-eq em 1 ano conforme as emissões líquidas medidas pela CFT. Semelhante ao resultado obtido na análise da área de pastagem e pecuária, a captura de carbono pelo solo é um fator que favorece esta diferença.

Na produção de milho, são registradas emissões totais de GEE pela ferramenta CFT equivalentes a 108,12 toneladas de CO₂-eq. Essas emissões aumentaram em aproximadamente 2,70 toneladas de CO₂-eq./ha cultivado, delineando o impacto ambiental por unidade de área. Além disso, a produção de uma tonelada de milho é associada a emissões de cerca de 0,122 toneladas de CO₂-eq., fornecendo uma medida das emissões por unidade de produção. Esses valores quantificam a pegada de carbono da produção de milho, desempenhando um papel

crucial na compreensão e adoção de práticas agrícolas mais ecológicas em relação às emissões de gases de efeito estufa (Gráfico 2).

Gráfico 2: Comparação entre GHG Protocol e CFT para área de produção de milho



Fonte: Elaborado pela autora.

A produção de fertilizantes foi a principal geradora de emissões, com 21,09 toneladas de CO₂-eq. Essas emissões foram equivalentes a 0,527 toneladas CO₂-eq./ha e 0,239 toneladas CO₂-eq. por tonelada de produção de milho. A segunda maior fonte de emissão foi o fertilizante no solo. Esta categoria contribuiu com 12,25 toneladas de CO₂, 0,243 toneladas de N₂O e 0 kg de CH₄, gerado em um total de 78,83 toneladas de CO₂-eq. A emissão por hectare foi de 1,97 toneladas de CO₂-eq. e por tonelada de produção foi de 89,58 CO₂-eq.

As emissões de GEE associadas ao uso de energia no campo totalizaram 6,24 toneladas de CO₂-eq., com 0,156 toneladas CO₂-eq./ha e 7,10 toneladas CO₂-eq. por tonelada. Emissões de 1,93 toneladas de CO₂-eq. foram registradas para a proteção das culturas, com emissões por hectare de 0,481 kg de CO₂-eq. e por tonelada de produção o valor de 2,19 toneladas CO₂-eq. Por fim, emissões de 0,027 toneladas de CO₂-eq. foram registradas para o transporte fora da fazenda, geradas em 0,006 kg CO₂-eq./ha e 0,03 kg CO₂-eq. por tonelada. Os valores são representados na tabela 6.

Tabela 6: Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho gerado pela ferramenta CFT.

Fontes	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Total de CO ₂ -eq	Por ha	Por tonelada
Produção de sementes	0	0	0	0	0	0
Gerenciamento de resíduos	0	0	0	0	0	0
Produção de fertilizantes*	21,09	0	0	21,09	0,527	23,97
Solo e fertilizante	12,25	0,243	0	78,83	1,97	89,58
Metano de Arroz	0	0	0	0	0	0
Proteção das culturas	1,93	0	0	1,93	0,048	2,19
Mudanças no estoque de C	0	0	0	0	0	0
Uso de energia (campo)	6,24	0	0	6,24	156,11	7,10
Uso de energia (processamento)	0	0	0	0	0	0
Águas residuais	0	0	0	0	0	0
Transporte	0,027	0	0	0,027	0,006	0,03

Legenda: Valores expressos em toneladas.

Fonte: Elaborada pela autora.

As emissões por escopo para milho enquadraram-se no escopo 1. O total de emissões é de 130,11 toneladas de CO₂-eq. Isso equivale a uma média de 2,83 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada e 0,09 toneladas de CO₂-eq. por tonelada de milho produzida. As emissões por processos biogênicos são de 1,34 toneladas de CO₂ e 0,03 toneladas de CO₂-eq. por hectare de área cultivada. O total de emissões atribuídas a mudança de uso e ocupação do solo é de 42,17 toneladas de CO₂-eq., 0,92 por toneladas de CO₂-eq./ha por hectare de área cultivada e 0,03 toneladas de CO₂-eq. por tonelada de milho produzida.

Os valores apresentados no balanço de GEE emitidos pelo GHG Protocol para a produção de milho indicam que foram emitidas 173,62 toneladas de CO₂-eq. no total. Este resultado consiste nos valores apresentados acima das emissões de escopo 1, processos biogênicos e mudança de uso e ocupação do solo. Em relação à área de cultivo, a emissão foi de 3,77 toneladas de CO₂-eq./ha. Considerando a quantificação da produção, a emissão foi de 0,12 toneladas de CO₂-eq. por tonelada de milho produzido. Além disso, houve uma emissão de 1,34 toneladas de CO₂-eq. transferidas aos processos biogênicos. Esses valores refletem o impacto ambiental da produção de milho em termos de emissões de GEE.

Quanto aos dados fornecidos por categoria pela ferramenta GHG Protocol (Tabela 7), o setor de calagem emitiu 21,93 toneladas de CO₂, totalizando 21,93 toneladas de CO₂-eq. A aplicação de fertilizante nitrogenado sintético, com exceção da ureia, resultou em emissões de 0,09 toneladas de N₂O e 23,84 toneladas de CH₄, com um total equivalente a 23,93 toneladas de CO₂-eq. Reduzir o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos e implementar práticas de manejo de nutrientes mais eficientes podem ajudar a reduzir as emissões de metano e óxido nitroso, além de economizar custos de insumos.

A categoria de lixiviação e escoamento superficial foi responsável por emissões indiretas de 0,01 toneladas de N₂O e 2,48 toneladas de CH₄, somando 2,49 toneladas de CO₂-eq. Deposição atmosférica de N volatilizado também resultou em 0,01 toneladas de N₂O e 3,31 toneladas de CO₂-eq. Quanto à decomposição de resíduos vegetais, as emissões dessa fonte foram de 0,24 toneladas de óxido nitroso e 65,49 toneladas de CO₂-eq. As emissões por operações mecanizadas produziram 12,99 toneladas de CO₂, com um total equivalente a 13,05 toneladas de CO₂-eq., considerando as contribuições insignificantes de N₂O e CH₄.

Tabela 7: Distribuição de GEE produzidos por setor durante o processo de produção de milho gerado pela ferramenta GHG.

Fonte	Detalhes	Emissões (tonelada)			Total (tonelada de CO ₂ eq.)
		CO ₂	N ₂ O	CH ₄	
Calagem	-	21,93	0	0	21,93
Aplicação de ureia	-	0	0	0	0
Fertilizante nitrogenado sintético	Exceto ureia	0	0,09	0	23,84
Adubação orgânica	-	0	0	0	0
Adubação verde	-	0	0	0	0
Lixiviação/escoamento superficial	Emissões indiretas	0	0,01	0	2,48
Deposição atm. de N volatilizado	Emissões indiretas	0	0,01	0	3,31
Decomposição de resíduos vegetais	-	0	0,24	0	65,49
Queima de resíduos vegetais	-	0	0	0	0
Manejo de solos orgânicos	-	0	0	0	0
Operações mecanizadas	-	12,99	0	0	13,05

Legenda: Valores expressos em toneladas.

Fonte: Elaborada pela autora.

5.4 COOL FARM TOOL SOLOS

Os resultados obtidos pela ferramenta CFT mostram as emissões de GEE associadas aos solos. As emissões totais alcançaram -826,74 mil kg CO₂-eq., indicando o impacto significativo dessas emissões devido a remoção ou captura líquida de dióxido de carbono equivalente. Além disso, a métrica de emissões por hectare foi de -24,68 mil kg CO₂-eq., ressaltando a relação entre a extensão das áreas e as emissões. Embora a métrica de emissões por tonelada seja dada como -308,49 mil kg CO₂-eq., a unidade específica fornecida foi a “grama perene” como base de cálculo para a área de cultivo de Tifton para pastoreio, o que pode impactar a interpretação exata. Um saldo final de -890 toneladas foi decorrente a mudanças na prática de gestão do solo,

pela implantação da área silvipastoril. Em decorrência do uso de Madeira Tropical Úmida⁸, foi capturado o valor de 1,1 tonelada de CO₂-eq.

A tabela 8 fornece informações sobre várias fontes de emissões de gases de efeito estufa, incluindo N₂O e CH₄, juntamente com suas emissões totais equivalentes fornecidas pelo programa CFT na avaliação dos solos.

Tabela 8: Distribuição de GEE produzidos por setor para a avaliação de captura de emissões de GEE pelo solo, gerado pela ferramenta CFT.

Fontes	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	Total de CO ₂ -eq	Por há	Por tonelada
Produção de sementes	0	0	0	0	0	0
Gerenciamento de resíduos	0	0,241	0	65,98	1,97	24,62
Produção de fertilizantes*	0	0	0	0	0	0
Solo / fertilizante	0	0,182	0	4,99	0,149	1,86
Metano de Arroz	0	0	0	0	0	0
Proteção das culturas	0	0	0	0	0	0
Mudanças no estoque de C	-897,76	0	0	-897,76	-26,80	-334,98
Uso de energia (campo)	0,421	0	0	0,421	1,26	0,02
Uso de energia (processamento)	0	0	0	0	0	0
Águas residuais	0	0	0	0	0	0
Transporte	0	0	0	0	0	0

Legenda: Valores expressos em toneladas.

Fonte: Elaborada pela autora.

Não foram registradas emissões de N₂O, CH₄ ou equivalentes totais, associadas aos setores: produção de sementes; a produção de fertilizantes; o metano de arroz; proteção de cultivos; uso de energia de processamento; águas residuais e ao transporte fora da fazenda.

A gestão de resíduos não registrou emissões de CH₄, porém, são registradas emissões de 0,241 toneladas de N₂O por ha e emissões de 65,98 toneladas de CO₂-eq. As emissões equivalentes totais de N₂O são de 1,97 toneladas por ha e 24,62 por tonelada de grama perene produzida. A categoria de Solo/Fertilizante registrou emissões de 0,182 toneladas de N₂O e emissões de 4,99 toneladas de CO₂-eq. As emissões equivalentes totais são 0,149 toneladas por ha e 1,86 toneladas por produção. O uso de energia de campo resultou em emissões de 0,421 toneladas de CO₂, além de emissões de 1,26 toneladas por ha e 0,02 por tonelada.

A categoria de mudanças no estoque de carbono atuou como sequestrador de carbono atmosférico, com valores negativos de -897,76 toneladas de CO₂, nenhuma emissão de CH₄ e

⁸ Madeira tropical úmida é um termo que se refere a madeira proveniente de árvores de espécies tropicais que são nativas de regiões tropicais ou subtropicais e que crescem em ambientes úmidos, como florestas tropicais.

equivalente total igual a -897,76 toneladas de CO₂-eq. As emissões são de -26,80 toneladas por ha e -334,98 toneladas de CO₂ por tonelada.

5.5 GHG PROTOCOL FLORESTAS

Em contrapartida, a ferramenta GHG Protocol Floresta calcula o sequestro dos GEE pela floresta, diferente da ferramenta europeia que não apresenta essas estimativas, justificando as emissões líquidas pelo GHG Protocol, quando há análise da área florestal. A área de eucalipto, a área silvipastoril e as áreas de APP e reserva legal apresentaram emissões líquidas no valor de -133,86, -18,53 e de -841,32 toneladas de CO₂-eq. em 1 ano, respectivamente segundo inventário fornecido pelo GHG protocol.

A área de APP e reserva legal apresentaram o balanço total de emissões de GEE de -33.652,91 toneladas de CO₂-eq., este valor representa uma quantidade líquida de emissões retiradas ou sequestradas da atmosfera ao longo de 40 anos. Em relação à área, o balanço de emissões por hectare é de -747,84 toneladas de CO₂-eq., e sugere que a área está efetivamente absorvendo mais emissões do que emitindo. Por unidade de planta, o balanço de emissões é de -2,09 toneladas de CO₂-eq., por árvore, indicando que, em média, cada planta contribui para a remoção de emissões da atmosfera. Notavelmente, os processos biogênicos não originaram com emissões líquidas, o que implica que esses processos estão, de fato, removendo mais emissões do que gerando.

Os valores fornecidos pelo GHG Protocol para a área de eucalipto revelam um balanço de emissões significativamente negativo. A área de eucalipto, abrange 5 hectares, e apresenta um balanço de GEE de -2.810,97 toneladas de CO₂ equivalente ao longo de 21 anos. Esta parcela da propriedade atua como um sumidouro líquido de grande parcela das emissões da propriedade. No contexto da fazenda como um todo, que inclui produção de milho, pecuária, áreas de APP e reserva legal, esses valores são fundamentais para entender o impacto geral das diferentes atividades na emissão líquida de GEE.

O Escopo 1 apresentou 0,847 CO₂-eq., dos quais os valores foram distribuídos em fontes de emissão e captura. A área silvipastoril apresentou um balanço de GEE de -741,24 toneladas de CO₂-eq. ao longo de 40 anos estimado com base nas emissões e capturas realizadas pela biomassa presente na área. Balanço de GEE por área é de -741,24 tonelada de CO₂ eq./ha. O balanço de GEE por planta (tonelada de CO₂-eq./planta) foi equivalente a -2,07. Este setor resultou e um balanço de emissões por processos biogênicos no valor de 0,024 toneladas de CO₂-eq., enquanto as reduções foram equivalentes a 0,83 toneladas de CO₂-eq. O valor

calculado por árvore plantada foi de 6,85 toneladas de CO₂-eq/arvore. A principal fonte de emissão dentro do Escopo 1 foi associada a fontes mecânicas de emissão.

O balanço de emissões da área de eucalipto e silvipastoril, considerando um período de 21 anos e 40 anos (de acordo com a ferramenta) respectivamente, apresentam valores de emissões exponenciais entre as emissões pelo sistema e o sequestro pela biomassa arbórea. É possível verificar um sistema sustentável, de acordo com a compensação das emissões de GEE ao longo de 40 anos, segundo as projeções fornecidas pela ferramenta GHG Protocol. Uma análise total do balanço de GEE pode ser realizada com base nos resultados obtidos através da combinação adequada dos balanços individuais de cada área para determinar o resultado total de emissões ou sequestros na propriedade.

5 DISCUSSÃO

Após analisar os resultados obtidos por meio das ferramentas de cálculo de pegada de carbono, foi observada uma discrepância nas estimativas de emissões líquidas de GEE na área de pastagem e pecuária. Utilizando o GHG Protocol, a avaliação indicou um balanço de emissões líquidas de 767,86 toneladas de CO₂-eq. ao longo de um ano. É notável que as estimativas geradas pelo GHG Protocol resultaram em uma quantidade maior de emissões líquidas em comparação com a avaliação por meio da ferramenta CFT para a mesma área de pastagem e pecuária durante o período analisado.

A discrepância nos resultados pode ser atribuída, em parte, à maneira como cada ferramenta considera o sequestro de carbono pelo solo em seus cálculos, disponível na ferramenta CFT de forma isolada e mais específica quando comparada ao GHG Protocol (CFT, 2022). A Cool Farm Tool incorpora a dimensão do sequestro de carbono no solo em seus cálculos, considerando tanto as emissões líquidas de gases de efeito estufa quanto o carbono capturado. Isto permite que os produtores entendam o impacto de suas práticas agrícolas no equilíbrio de carbono. Neste cenário, onde a CFT estimou emissões líquidas de 432,74 toneladas de CO₂-eq. em 1 ano, é provável que essas emissões tenham sido compensadas em parte pela captura de carbono no solo, o que resultou em um valor líquido menor em comparação com as estimativas do GHG Protocol.

Os valores registrados com o CFT são semelhantes aos relatados por outros estudos, que variam entre 335,405 e 1.975,412 toneladas CO₂-eq. (SEJIAN et al., 2018). No entanto, a estimativa das emissões de gases pela CFT é baseada principalmente nos parâmetros

estipulados em países desenvolvidos. Vidican et al. (2023) obteve valor semelhante em seu trabalho, 553,170 toneladas CO₂-eq. Contudo, o estudo foi realizado na planície da Transilvânia, na Romênia, caracterizada por um clima continental com temperaturas médias anuais entre 8 e 10°C e características do solo diferentes das encontradas no Brasil.

O relato de caso realizado na Romênia, avaliou as emissões de GEE em uma fazenda de leite com 65 vacas em lactação. Os resultados apresentados mostram emissões totais de GEE de 553,170 toneladas CO₂-eq. e uma média de 1,22 toneladas de emissões de CO₂-eq. por kg de FPCM. As principais fontes de emissões de GEE originam-se da fermentação entérica, responsável por 48% do total de emissões, com 265 toneladas CO₂-eq., e a produção de ração com 190 toneladas CO₂-eq., responsável por 34% do total. Outro grande contribuinte foi relacionado ao manejo de esterco, com 40,40 toneladas de CO₂-eq. O metano da fermentação entérica contribuiu com 9.490 kg para o total da pegada. Entre as fontes de GEE a produção de ração liberou a maior quantidade de CO₂, com 183,00 toneladas, enquanto o maior contribuinte de N₂O foi o resultado da pastagem, com um total de emissões de N₂O de 0,097 toneladas (VIDICAN et al., 2023).

Os valores obtidos para a produção de ração, segundo a CFT foram os mais significativos comparado aos outros setores, com produção de 65,89 toneladas de CO₂, 0,122 toneladas de N₂O e 0,116 toneladas de CH₄. O total de emissões compara-se ao obtido por Vidican et al. (2023) em outros trabalhos que avaliam as emissões na pecuária (NOVAES, 2017).

A ferramenta CFT difere-se principalmente em relação à raça, à alimentação e às entradas de solo. Em relação à raça do animal, a ferramenta CFT permite a inclusão de uma ou mais raças, além de inclusões sobre o teor de gordura do animal e do leite. Os dados de entrada para análise do solo, abrangem todos os aspectos de produção de GEE e utiliza como base de cálculos dados europeus. Os cálculos do solo diferem de forma significativa dos cálculos feitos pelo programa GHG Protocol, uma vez que este está padronizado com características do solo argiloso típico das regiões do sul e sudeste central do Brasil, com diferentes índices pluviométricos, de temperatura e relevo.

Bell et al. (2011) ressaltaram que a seleção genética para melhorar a eficiência alimentar teve um impacto significativo na redução das emissões de CO₂-eq. por unidade de leite produzido. Além disso, Uddin et al. (2020) observaram que diferentes sistemas de alimentação e pastagem influenciaram as emissões de GEE, tanto nas emissões diretas dos animais quanto nas emissões associadas ao manejo do esterco e ao uso da terra. Eles também mencionaram que a produção de leite e carne bovina pode ser otimizada considerando-se a dieta

e o manejo das pastagens. É possível inferir que ao otimizar a produção por meio de práticas como ajustes na dieta dos animais e um manejo mais eficiente das pastagens, há uma tendência de redução nas emissões de GEE.

Bell et al. (2011) comparou o impacto ambiental de diferentes sistemas de produção de laticínios em termos de emissões de gases de efeito estufa CO₂-eq. associado ao uso da terra no Reino Unido. Foram desenvolvidos cálculos por meio da cadeia de Markov, usando dados experimentais de vacas Holstein-Friesian versus sistema de alimentação, enquadrados no Tier II. A comparação foi feita em termos de gordura e proteína do leite (linha de controle) ou para aumentar essa produção (linha selecionada). Os animais receberam uma dieta com baixo teor de forragem (50% de forragem) sem pastejo ou uma dieta com alto teor de forragem (75% de forragem) com pastejo no verão. As emissões de CO₂-eq. foram calculadas por unidade de ECM e por hectare de uso da terra, assim como a área necessária por unidade de ECM.

Os resultados do estudo de Bell et al. (2011) mostraram que, em média, a produção orgânica com baixo teor de forragem (sem pastagem) resultou nas menores emissões de CO₂-eq. e uso de terra. O sistema de alimentação com baixo teor de forragem com vacas selecionadas produziu as menores emissões de CO₂-eq. de 1,1 kg/kg de ECM e uso de terra de 0,65 m²/kg de ECM, porém apresentou as maiores emissões de CO₂-eq. de 16,1 t/ha de ECM em comparação aos outros sistemas de produção avaliados. Melhorar a eficiência alimentar resultou na redução da dependência do sistema agrícola de fertilizantes sintéticos e ração concentrada. Além disso, houve diminuição média de cerca de 6,5% nas emissões de CO₂-eq. e no uso de terra do rebanho. Destes, aproximadamente 4% poderiam ser alcançados por meio de seleção genética. Nos sistemas de produção, melhorias na eficiência de utilização de alimentos também possibilitariam reduções nas emissões de CO₂-eq./kg de ECM e por hectare. e na quantidade de terra utilizada pelo rebanho.

Feng e Kebread (2020) exploraram o efeito de mitigação de GEE utilizando aditivos alimentares específicos. O estudo conduzido na Califórnia, utilizou 3-nitroxipropanol e nitrato visando a redução da emissão de GEE pelo gado leiteiro. A metodologia utilizada envolveu a avaliação de Ciclo da Vida para entender o impacto ambiental do nascimento até a saída da fazenda. As emissões correlacionadas à produção agrícola, produção de aditivos alimentares, metano entérico, manejo da fazenda e armazenamento de esterco foram calculadas e expressas como equivalentes em kg de CO₂-eq. por kg de leite corrigido para energia. As emissões totais de gases de efeito estufa da linha de base, 3-nitroxipropanol e nitrato oferecidos durante ao gado de leite foram de 1,12, 0,993 e 1,08 kg CO₂-eq/kg, respectivamente, de energia corrigida. As taxas líquidas médias de diminuição para 3-nitroxipropanol e nitrato foram de 11,7% e 3,95%,

respectivamente. Analisando os resultados, houve uma pequena melhora na redução da pegada de carbono em relação a limitação de seu uso durante a fase de lactação, quando utilizados os aditivos alimentares no rebanho. Embora tanto o 3-nitroxipropanol quanto o nitrato tenham efeitos na redução da emissão total de GEE, o 3-nitroxipropanol apresentou ser melhor. O estudo enfatiza o fato de diferentes aditivos causarem impactos variados nas emissões de GEE, demonstrando como as complicações específicas na alimentação dos animais podem influenciar as emissões.

Os resultados alcançados neste estudo de caso usando o CFT mostraram que as vacas leiteiras tiveram a maior pegada, considerando as emissões de esterco (68,4%), fermentação entérica (66,7%), pastejo (59,8%) e ração (48,1%). As vacas secas foram o segundo maior contribuinte para as emissões de GEE da fazenda devido às emissões de fontes de esterco (21%), fermentação entérica (16,2%), pastagem (20,6%) e fontes de alimentação (31,3%). As vacas em lactação deram a menor contribuição para as emissões de GEE da fazenda na categoria de manejo de esterco, com apenas 0,5% do total de emissões. As emissões de GEE de vacas lactantes em outras categorias de fontes incluíram fermentação entérica (8,1%), pastejo (10,2%) e alimentação (9,2%) (VIDICAN et al., 2023).

O controle das emissões de carbono está intrinsecamente ligado a fatores como a temperatura do solo, a umidade e o uso da terra, sendo diretamente influenciado pelas características geológicas e meteorológicas de cada região (BAAH-ACHEAMFOUR et al., 2016). A capacidade de sequestro de carbono pelo solo é particularmente destacada como uma fonte crucial de créditos de compensação, devido à sua contribuição significativa (~89%) para o potencial global de redução das emissões provenientes da agricultura (SMITH et al., 2007b).

Ao analisar estudos que empregaram a ferramenta CFT em regiões tropicais e subtropicais, é evidente que surgem desafios destacados pelos pesquisadores. Um desses estudos foi controlado em oito países, sendo eles: Cambódia, China, Costa Rica, Kenya, México, Tanzânia, Vietnã e Zimbábue; teve por objetivo compilar dados de emissões de GEE de experiências de campo em sistemas tropicais de pequenos agricultores e compará-los com as emissões previstas por duas das ferramentas de medição de GEE utilizadas, EX-ACT10 e CFT. Os autores verificaram que em 70% dos casos as estimativas baseadas nas calculadoras foram superiores aos dados aferidos. Além disso, verificaram que em 41% das comparações, as calculadoras previam incorretamente o aumento ou diminuição das emissões com uma mudança no gerenciamento.

O estudo realizado por Ortiz-Gonzalo et al., (2017), avaliou as emissões em 125 fazendas com sistema intensivo e extensivo de café e laticínios em fase de intensificação

agrícola no Quênia Central, usando uma versão adaptada da Cool Farm Tool. As emissões médias em escala de rendimento, ou pegadas de carbono do produto, resultaram em 1,08 kg CO₂-eq./kg de grãos de café, 0,64 kg CO₂-eq./kg milho e 1,05 kg CO₂-eq./kg leite em média. Os resultados do estudo apontam que os valores de pegadas de carbono do produto não diferiram entre tipos de sistemas agrícolas e níveis de intensificação, assim como não causaram aumentos nos fluxos de GEE. Estes resultados foram atribuídos às emissões provenientes de entradas de N na calculadora, como decorrentes da fermentação entérica, estes valores são supostamente superestimados pela ferramenta CFT.

Em contrapartida, Sykes (2019) cita que a ferramenta tende a subestimar as emissões relacionadas ao estrume dos animais em comparação com outras metodologias e totais médios encontrados no estudo. A ferramenta Cool Farm Tool é usada para fazer cálculos segundo as Diretrizes do IPCC (2006) para o cálculo das emissões pecuárias e afirma ter desempenho no nível Tier I ou Tier II. O trabalho foi conduzido em sete fazendas produtoras de carne e avaliou cinco ferramentas diferentes (AgRE Calc, CFT, CALM, CPLAN, CFF). Os valores obtidos para o manejo de esterco entre as ferramentas AgRE Calc, CALM, CFF variaram entre 800 a 1000 toneladas de CO₂-eq., enquanto a ferramenta CFT registrou valores próximos a 200 toneladas de CO₂-eq. de modo que as emissões de gases de efeito estufa provenientes do estrume podem ser subestimadas.

De modo semelhante, as emissões de CO₂-eq do manejo de esterco também foram diferentes entre CFT e GHG Protocol no presente estudo, com valores de 1,73 toneladas de CO₂-eq. e 18,39 toneladas de CO₂-eq. respectivamente. Os dados obtidos pela CFT diferem principalmente em relação às emissões de CH₄ provenientes da fermentação entérica e às estimativas de CO₂-eq. associado a essas emissões, que aumentaram significativamente. Os valores do CFT para a fermentação entérica foram de 10,10 toneladas de CH₄ e emissões totais de 281,71 toneladas de CO₂-eq. Estes valores são quase o dobro relatados pelo GHG Protocol, com 22,94 toneladas de CH₄ 653,81 toneladas de CO₂-eq nesta categoria. As diferenças refletem em variações nas emissões, de modo a impactar o valor do balanço final dos GEE.

O estudo realizado por Sykes (2019) não obteve diferenças significativas em relação à fermentação entérica ao comparar CFT e outras ferramentas. Contudo, houve a determinação de um valor superestimado em relação às emissões pelo solo de culturas, ao comparar CFT (350 toneladas de CO₂-eq.) e as ferramentas AgRE Calc e CALM (280 toneladas de CO₂-eq.).

As razões para a subestimação de valores referentes ao manejo de esterco não estão claras, mesmo que a descrição metodológica da CFT sugira estimativas próximas às do Tier II. Como sugestão CFT pode responder de maneira diferente a mudanças no sistema de pecuária

em comparação com outras ferramentas, possivelmente devido às diferenças na alocação de emissões para subcategorias. (SYKES, 2019).

Os resultados apresentados por Richards et al. (2016), indicam que existe uma discrepância entre as estimativas das calculadoras e as observações de campo. Sykes (2019) e Ortiz-Gonzalo et al. (2017), apontam subestimação e superestimação, respectivamente, de valores pela ferramenta CFT, o que levanta questões importantes sobre a precisão dos cálculos em contextos tropicais e subtropicais específicos.

É relevante ressaltar que o monitoramento de GEE depende, em grande parte, de modelos calibrados com base em monitoramentos predominantemente conduzidos em países de climas temperados (ROSENSTOCK; RUFINO; WOLLENBERG, 2013). Nesse sentido, a capacidade de prever as emissões provenientes do solo por meio dos realizados pelo protocolo CFT não reflete de forma fidedigna a realidade ao considerar as particularidades do solo (RICHARDS et al., 2016). Contudo, a ferramenta GHG Protocol inclui a consideração do sequestro de carbono pelo solo, ao incluir esta dimensão nos cálculos do bioma, dentro do sistema Florestas, conforme estipulado no Guia The Land Use, Land - Use Change, and Forestry Guidance for GHG Project Accounting (WRI, 2022).

Os resultados obtidos pela GHG Protocol são superiores ao avaliar isoladamente pecuária e milho. A média brasileira de emissões baseadas na produção de milho é de 6,5 milhões de toneladas CO₂ eq., considerando estimativas calculadas nos últimos 20 anos. O intervalo sugere que as emissões podem variar entre 0,3 milhões de toneladas e 2,2 milhões de toneladas de CO₂ eq./ha/ano (NOVAES, 2017). A média obtida neste estudo para produção de leite e milho, supera os valores encontrados nas emissões de GEE estimados em decorrência de alterações no uso do solo em 2010, com o valor de 66 toneladas de CO₂ por tonelada de carne produzida (peso carcaça) para a carne bovina brasileira, 0,89 toneladas de CO₂/t para a soja brasileira e 7,5 toneladas de CO₂/t para o óleo de palma da Indonésia, utilizando um período de amortização de 10 anos (PERSSON; HENDERS; CEDERBERG, 2014).

O GHG Protocol é a estratégia mais amplamente utilizada para gerenciar e mitigar emissões de GEE no nível da empresa (ALROMAIZAN et al., 2023). Possui diversos recursos acessíveis on-line, que incluem relatórios de orientação padronizados e ferramentas (GHG PROTOCOL, 2022), e vem ganhando espaço na agricultura.

Considerar o uso da ferramenta GHG Protocol no Brasil é uma medida mais vantajosa em comparação à CFT, ao considerar a metodologia e literatura na qual se baseia por utilizar dados nacionais. Para calcular as emissões, dois tipos de dados são essenciais: dados de atividade e fatores de emissão. Os dados de atividades referem-se a níveis mensuráveis de atividades que

geram emissões de GEE, como por exemplo o consumo de combustível. Os fatores de emissão são fatores de conversão que traduzem dados de atividade em emissões de GEE, como a quantidade de CO₂ liberada por litro de combustível consumido (GHG PROTOCOL, 2004). Porém, os dados fornecidos pela GHG Protocol são menos amplos e com menor detalhamento das emissões específicas (ALROMAIZEN et al., 2023).

Os componentes arbóreos apresentam um grande potencial em sequestrar carbono acima e/ou abaixo do solo, sendo importante sua análise dentro da propriedade. Segundo Oliveira et al. (2022) o plantio de árvores pode ser usado como uma estratégia de mitigação para a emissão de GEE. Os valores fornecidos pelo GHG Protocol Florestas apresentaram as emissões do sistema florestal específico com base nos dados e informações fornecidos por este trabalho. A Fazenda Gordura possui 3 ha de sistema silvipastoril e 45 ha das áreas de APP e reserva legal localizados no bioma Mata Atlântica - Mista. Este bioma é calculado pela ferramenta GHG por possuir um estoque de carbono no valor de 504,34 tonelada de CO₂/hectare (BRASIL, 2018). O solo é classificado como argiloso e este fator também foi incluso automaticamente nos cálculos de captura de carbono. Porém o GHG Protocol não fornece a estimativa de captura pelo solo como um resultado à parte das outras emissões, como ocorre na ferramenta CFT (WRI, 2022).

A área apresenta uma distribuição de espécies madeireiras, como Angico-vermelho, Canafistula, Ipê-amarelo e Mutambo, com densidades específicas de árvores por hectare para cada espécie. Além das espécies madeireiras, a área também possui uma composição de espécies frutíferas, incluindo Araçá-amarelo, Araçá-icica, Cereja-do-Rio-Grande, Inga-banana, Ingá-cipó, Macadamia, Pitanga e Uvaia, com densidades específicas de árvores por hectare para cada espécie.

O uso anterior do solo da propriedade consistia em uma área degradada, o plantio integrado do sistema silvipastoril foi realizado em 2008. Esta área passou a ser somado como área de APP e reserva legal como áreas sustentáveis. A análise feita pelo GHG Protocol, forneceu como emissões líquidas para a Área de Eucalipto de -133,86 toneladas de CO₂-eq. em 1 ano. Para a Área Silvipastoril as emissões líquidas foram iguais à -18,53 toneladas de CO₂-eq, e para as Áreas de APP e Reserva Legal, as emissões foram -841,32 toneladas de CO₂-eq. em 1 ano.

Com base nos valores de emissões líquidas de GEE do sistema florestal, é possível afirmar que a área está atuando como um sumidouro de carbono. Isso é uma indicação positiva em termos de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e contribuição para o sequestro de carbono da atmosfera. As árvores e a vegetação da área estão desempenhando um papel

importante na captura de carbono, semelhante a outros trabalhos realizados com estas espécies madeireiras as quais apresentaram uma emissão negativa de CO₂ (NOVAES et al., 2017).

Outros autores observaram emissões negativas em áreas de ILPF, não somente em relação a emissões líquidas de CO₂, mas também junto a outros gases. Em uma avaliação dos fluxos de metano de um sistema silvipastoril intensivo (iSPS) com alta densidade de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*), um sistema intensivo de monocultura de pastagem e uma floresta seca secundária, Rivera et al. (2018) constataram que tanto a floresta quanto as iSPS tiveram fluxos negativos de CH₄ de -0,56 e -0,02 kg de CH₄/ha/ano. A obtenção de valores de metano negativos ou próximos a zero, como apresentado neste estudo, pode ser atribuído à biodiversidade de microrganismos encontrados no solo (VALLEJO et al., 2010).

Em um estudo desenvolvido por Baah-Acheamfour (2016), conduzido em Alberta - Canadá, foram mensurados mensalmente os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O do solo e o GWPM em solos florestais e herbáceos (áreas sem árvores) de três sistemas agroflorestais (cerca viva, corredor ecológico e silvipastoril) durante duas estações. Os gases foram capturados em câmaras de acrílico, inseridas no solo a 6 cm de profundidade, e suas concentrações foram determinadas por um cromatografo a gás (GC, Modelo CP-3800, Varian Co., CA), equipado com um detector de condutividade térmica (TCD), um detector de ionização de chama (FID) e um detector de captura de elétrons (ECD) para analisar as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O, respectivamente. Os valores calculados por um modelo de regressão linear e quadrático. Os resultados obtidos demonstram que o sistema silvipastoril é o mais eficaz em captura de CO₂ quando comparado aos demais. O GWPM das emissões de GEE foi maior em cervas vivas (88 kg CO₂/ha-1), seguido por corredor ecológico (85 kg CO₂/ha-1) e sistema de silvipastoril (76 kg CO₂/ha-1).

Gutlein et al. (2018) avaliou 60 amostras de solo, provenientes de 12 ecossistemas diferentes, durante os anos de 2011 a 2015. A pesquisa tratou diferentes usos da terra em Monte Kilimanjaro, combinando câmara *in situ* de longo prazo e técnicas de incubação de núcleo de solo em laboratório. Como resultado, observou padrões semelhantes de troca de GEE e concluiu que a proteção e o manejo sustentável dos estoques de carbono e nitrogênio acima e abaixo do solo de sistemas agroflorestais são fundamentais para mitigar as emissões de GEE decorrentes da mudança no uso da terra. Geralmente, o solo exerce o papel de fonte líquida para N₂O e sumidouro de CH₄. N₂O se correlacionaram positivamente com a umidade do solo e o teor de nitrogênio total. As taxas de absorção de CH₄ se correlacionam negativamente com a umidade e o teor de argila do solo e positivamente com o carbono orgânico do solo (GUTLEIN et al., 2018).

Fazendas extensivas e orgânicas têm menor emissão de amônia devido a taxas de criação e excreção de nitrogênio menores em comparação com fazendas intensivas. Devido à menor taxa de criação de gado e à menor excreção de nitrogênio (a produção de leite é menor), as fazendas extensivas (119 kg SO₂ ha em 1 ano) e especialmente as fazendas orgânicas (107 kg SO₂ ha em 1 ano) emitem uma quantidade menor de amônia em comparação com as fazendas intensivas (136 kg SO₂ há em 1 ano), embora ainda seja excessiva para certos ecossistemas (HASS 2001).

O sistema silvipastoril mostra-se o menos promotor de GWP pois apesar do volume emitido na atmosfera, este sistema possui maior capacidade de retenção de CO₂ no solo, o que reflete a redução da emissão de N₂O e maior absorção de CH₄ na área de floresta nativa e pasto adjacente.

6 CONCLUSÃO

Identificar oportunidades de redução de emissões é crucial para enfrentar os desafios relacionados às mudanças climáticas. Portanto, a influência da alimentação e dieta dos animais, bem como a composição do conjunto de culturas nas fazendas, nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) emergem como uma consideração primordial ao utilizar ferramentas de cálculo de pegada de carbono. Os estudos demonstram que melhorias na eficiência alimentar, a seleção criteriosa dos tipos de alimentos e a adoção de práticas de manejo administrativo podem ter um impacto substancial na redução das emissões de GEE na produção agrícola e pecuária. Essas ações alinham-se diretamente aos objetivos de mitigação das mudanças climáticas e à busca pela sustentabilidade ambiental.

Ainda que os estudos conduzidos em países europeus ofereçam valiosos *insights*, é necessário adaptar sistemas de medição de GEE às condições específicas do Brasil, como mostradas pela ferramenta GHG Protocol. A mitigação das emissões de GEE na produção de leite e alimentos vegetais pode ser alcançada através da implementação de práticas agrícolas sustentáveis, um manejo adequado de resíduos, a utilização eficiente dos recursos disponíveis e a adoção de tecnologias de baixa emissão. Além disso, a integração de sistemas lavoura-pecuária-floresta bem como a implantação de áreas silvipastoris, desempenham um papel significativo na redução das emissões, ao mesmo tempo em que promovem a diversificação de produção e a recuperação de áreas degradadas. Assim, é fundamental que o ativo florestal entre nos cálculos de emissões de gases em propriedades rurais.

Observa-se que, com base nos resultados, a avaliação comparativa entre as emissões líquidas de GEE obtidas pelo CFT, com um balanço final de -285,26 toneladas de CO₂-eq, e pelo GHG Protocol, o balanço final com o balanço final equivalente a -52,23 toneladas de CO₂-eq. o que sugere uma remoção líquida de gases de efeito estufa da atmosfera. Por outro lado, a ferramenta CFT indica uma tendência de subestimação consistente das emissões nos sistemas de produção de milho e pecuária. E valores excluídos ao desconsiderar a captura pela biomassa florestal e ao seguir fatores de emissões que não seguem a realidade brasileira. Há a possibilidade de superestimação em relação ao sequestro de carbono pelo solo em decorrência das diferenças intrínsecas as características geológicas. Além disso, a análise revela que todos os sistemas de cultivo considerados geraram emissões de GEE, sendo o sistema pecuário o que registrou a maior contribuição, seguido pelo sistema de cultivo de milho.

A comparação entre a avaliação de floresta e solo, calculada respectivamente pelo GHG e CFT, emerge como um fator decisivo na determinação da escolha entre as diferentes ferramentas de medição de GEE. Conclui-se que ao considerar a possibilidade de superestimação pela captura de carbono pelo solo, é prudente ater-se a dados padronizados a nível nacional como os inclusos no GHG Protocol.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14064-1:2007**. Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. 2007.
- AMON, B. et al. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). **Nutrient cycling in Agroecosystems**, v. 60, n. 1, p. 103-113, 2001.
- AMON, B. et al. Inventory reporting of livestock emissions: the impact of the IPCC 1996 and 2006 uidelines. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 7, p. 075001, 2021.
- ALROMAIZAN, M. et al. Developing a Carbon Accounting Tool for SMEs in the Agri-Food Sector. **Procedia CIRP**, v. 116, p. 492-497, 2023.
- ASSIS, A. G. et al. Sistemas de produção de leite no Brasil. **Embrapa Gado de Leite-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2005.
- BACCHI, M. D. **Análise espacial da produção de leite no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019
- BAAH-ACHEAMFOUR, M. et al. Forest and grassland cover types reduce net greenhouse gas emissions from agricultural soils. **Sci Total Environ**, v. 15. p. 571:1115-27, 2016.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, O.; STONE, L. F. (Ed.). Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: **Embrapa**, p. 130, 2011.
- BALBINO, L.C. et al. Agricultura Sustentável por meio da Integração-Lavoura-Floresta (ILPF). **International Plant Nutrition Institute**, n.38, p.1-18, 2012.
- BAI, Y.; COTRUFO, M. Francesca. Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. **Science**, v. 377, n. 6606, p. 603-608, 2022.
- BASARAB, J. A. et al. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 303-315, 2013.
- BERNDT, A. et al. Técnicas para mensurar emissão de metano em bovinos. In: **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes no Cerrado**. 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2012. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>>. Acesso em: 04 jun. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/outras-publicacoes/plano-nacional-de-desenvolvimento-de-florestas-plantadas.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção Agropecuária**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>>. Acesso em: 06 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **SIRENE**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2021b. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Fatores nacionais para emissão e remoção de gases de efeito estufa na agropecuária estão em coletânea inédita do Mapa**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/fatores-nacionais-para-emissao-e-remocao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria-estao-em-coletanea-inedita-do-mapa>>. Acesso em: 04 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2023. Disponível em:<https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento.html#startOfPageId11710> Acesso em: 10 ago. 2023.

BREWER, K. M.; GAUDIN, A. C. M. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 149, p. 107936, 2020.

BROUCEK, J. Options to methane production abatement in ruminants: A review. **J. Anim. Plant Sci**, v. 28, n. 2, p. 348-364, 2018.

CARVALHO, L. S. et al. Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 15, p. 21259-21274, 2022.

CASTRO, M. C. C. S. et al. GHG emissions inventory: a statistical analysis of the voluntary disclosure in Brazil. **Int. J. Environmental Technology and Management**, Vol. 23, No. 1, 2020.

CCAC. Climate and Clean Air Coalition. **Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions**. Nairobi: United Nations Environment Programme. Paris, France, 2021. Disponível em: <<https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

CACC. Climate and Clean Air Coalition. **Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions**. Nairobi: United Nations Environment Programme. 2021. Disponível em: >https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources//2021_Global-Methane_Assessment_full_0.pdf<. Acesso em: 21 de jun. 2023.

CARVALHO GOMES, L. et al. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 224, p. 30-39, 2016.

CFT. Cool Farm Tool. **The Cool Farm Tool Biodiversity Metric, a User's Guide**. England, 2016. Disponível em: <<http://coolfarmtool.wpengine.com/wp-content/uploads/2016/10/CFT-Biodiversity-Users-Guide.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

CFT. Cool Farm Tool. **Greenhouse Gas**. 2022. Disponível em: <<https://coolfarmtool.org/coolfarmtool/greenhouse-gases/>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

CHENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. Climate change and livestock production: a literature review. **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 140, 2022.

CONANT, R. T. et al. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. **Ecological Applications**, v. 27, n. 2, p. 662-668, 2017.

CORTE, A. P. D. et al. High-Density UAV-LiDAR in an Integrated Crop-Livestock-Forest System: Sampling Forest Inventory or Forest Inventory Based on Individual Tree Detection (ITD). **Drones**, 6, 48, 2022.

DALCHIAVON, A. et al. Análise comparativa de custos e produtividade de leite em diferentes sistemas de produção. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2017.

DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DONDINI, M. et al. Projecting soil C under future climate and land-use scenarios (modeling). In: **Soil Carbon Storage**. Academic Press, p. 281-309, 2018.

DOUGLAS, G. et al. Soil carbon stocks under grazed pasture and pasture-tree systems. **Science of The Total Environment**, v. 715, p. 136910, 2020.

ECKARD, R. J.; CLARK, H. Potential solutions to the major greenhouse-gas issues facing Australasian dairy farming. **Animal Production Science**, v. 60, n. 1, p. 10-16, 2018.

EEA. European Environment Agency. European Union Emission Inventory Report 1990–2017. 10.2800/78220, 2019. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-emissions-inventory-report-2017>> Acesso em 12 de ago. 2023a.

EEA. European Environment Agency. How does climate change threaten the future of farming in Europe? Rome, 2023b. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/en/about/contact-us/faqs/how-does-climate-change-threaten-the-future-of-farming-in-europe>> Acesso em 12 de ago. 2023.

EIB. European Investment Bank. Investment and growth in the time of climate change. Ed: Stephen Gardner. Brussels, Belgium, 2012. (online). Disponível em: <https://www.eib.org/attachments/thematic/investment_and_growth_in_the_time_of_climate_change_en.pdf> Acesso em 12 de ago. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estudo expedito de solos da região Sul de Minas Gerais, partes do Alto São Francisco e Campos das Vertentes, para fins de classificação, correlação e legenda preliminar.** [por: SANTOS, H. G]. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação De Solos – SNLCS, Rua Jardim Botânico, 102422460, RJ- Brasil, (Boletim Técnico, 72), 1980.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** – [por: OLIVEIRA, R. M]. Secretaria de Inteligência e Relações Estratégicas Brasília, DF: Embrapa, p. 212, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Inventário Mede o Impacto Ambiental da Cadeia Leiteira Brasileira.** (notícia online) RJ- Brasil, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/81275410/inventario-mede-o-impacto-ambiental-da-cadeia-leiteira-brasileira>> Acesso em 12 de ago. 2023.

ENERGY. Europe Commission. **Methane emissions.** Disponível em: <https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/methane-emissions_en_>. Acesso em: 19 jun. 2023.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Sources of greenhouse gas emissions, USA, 2020.** Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Livestock solutions for climate change.** Roma, 2018a. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i8098e/i8098e.pdf>> Acesso em 14 ago. 2023

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018b. Disponível em:< <https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>> Acesso em: 14 ago. 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of the world's Forest – Forest pathways to sustainable development,** Rome, 2018c. Disponível em:< <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/I9535EN.pdf>> Acesso em: 17 mar. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Climate Change and the Global Dairy Cattle Sector – The Role of the Dairy Sector in a Low-Carbon Future.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Global Dairy Platform, 2018d. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/CA2929EN/ca2929en.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2023

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dairy Market Rewin: Emerging trends and outlook,** Rome, Italy, 2021a. Disponível em: <<https://www.fao.org/dairy-production-products/en/>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Key factors and figure.** 2021b. Disponível em: <<https://www.fao.org/news/story/en/item/197623/icode/#:%7E:text=Total%2520emissions%2520from%2520global%2520livestock,of%2520all%2520anthropogenic%2520GHG%2520em>>

issions.%26text=Cutting%2520across%2520all%2520activities%2520and,of%2520the%2520livestock%2520sector%27s%2520emissions>. Acesso em: 19 jul. 2022.

FENG, X.; KEBREAB, E. Net reductions in greenhouse gas emissions from feed additive use in California dairy cattle. **Plos one**, v. 15, n. 9, p. e0234289, 2020.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. **Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), 2008a. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/15413>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. **Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa – versão 2.0**. Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces), 2008b. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/31764>>. Acesso em: 19 jul 2022.

GASPARINI, L. V. L. et al. **Sistemas integrados de produção agropecuária e inovação em gestão: estudos de casos no Mato Grosso**. (Texto para Discussão, n. 2296). 2017.

GERSSSEN-GONDELACH, S. J. et al. Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 135-147, 2017.

GHG PROTOCOL. Greenhouse Gas Protocol. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard**. Washington, USA, 2004. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>>. Acesso em: 17 de jun. 2022.

GHG PROTOCOL. Greenhouse Gas Protocol. **GHG Protocol Agricultural Guidance**. [S.I.:s.n], p. 103. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf> Acesso em: 14 ago 2023

GHG PROTOCOL. Greenhouse Gas Protocol. **GHG Protocol Agricultural Guidance**. 2014 Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf> Acesso em: 17 de jun. 2022.

GHG PROTOCOL. Greenhouse Gas Protocol. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. 2015. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Metodologia.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2022.

GIL, J. D. B.; GARRETT, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land use policy**, v. 59, p. 557-568, 2016.

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

GOMES, M.A.F. et al. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18), p. 50, 2000.

GOMES, L. C. et al. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: a spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 294, p. 106858, 2020.

HARRISON, M.T. et al. Carbon myopia: the urgent need for integrated social, economic and environmental action in the livestock sector. **Global Change Biology**, v. 22, p. 5726-5761, 2021.

HERRERO, M. et al. Livestock and the environment: what have we learned in the past decade? **Annual Review of Environment and Resources**, v. 40, 2015.

HILLIER, J. et al. A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 9, p. 1070-1078, 2011.

HÖRTENHUBER, S. et al. Greenhouse gas emissions from selected Austrian dairy production systems—model calculations considering the effects of land use change. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 25, n. 4, p. 316-329, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6783>>. Acesso em: 13 out. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Leite**. 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>> . Acesso em: 21 jun. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Introduction to the 2006 guidelines**. 2006. Disponível em: < https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. 2007. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 19 jul. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems (SR2)**. Genevra, 2017. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/sr2_background_report_final.pdf> . Acesso em: 19 jun. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC FACTSHEET - What is the IPCC?** 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/about/>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

IVANOVICH, C. C. et al. Future warming from global food consumption. **Nat. Clim. Chang.** v.13, pag. 297–302, 2023.

JOSEPH, L. et al. Sistemas silvipastoris e serviços ecossistêmicos: a visão dos produtores de leite do Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 261-270, 2019.

KICHEL, A. N. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

KLEIN, D. et al. Environmental impacts of various biomass supply chains for the provision of raw wood in Bavaria, Germany, with focus on climate change. **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 45-60, 2016.

KONGBOON, R.; GHEEWALA, S. H.; SAMPATTAGUL, S. Greenhouse gas emissions inventory data acquisition and analytics for low carbon cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 343, p. 130711, 2022.

KOWALSKA, A. et al. Plant–soil interactions in soil organic carbon sequestration as a restoration tool. **Climate Change and Soil Interactions**, p. 663-688, 2020.

KRUCHELSKI, S. et al. Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage growth and wood density in integrated crop-livestock systems. **Agroforestry Systems**, v. 95, n. 8, p. 1577-1588, 2021.

LATIFI, H.; HEURICH, M. Multi-scale remote sensing-assisted forest inventory: A glimpse of the state-of-the-art and prospects. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, p. 1260, 2019.

LEMES, A. P. et al. Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-17, 2021.

LIU, W. et al. C. Are rubber-based agroforestry systems effective in controlling rain splash erosion? **Catena**, v. 147, p. 16-24, 2016.

LIU, Y. et al. Emission mechanism and reduction countermeasures of agricultural greenhouse gases—a review. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 160-174, 2019.

MAKKAR, H. P. S. Animal nutrition in a 360-degree view and a framework for future R&D work: towards sustainable livestock production. **Animal Production Science**, v. 56, n. 10, p. 1561-1568, 2016.

MAZZETTO, A. M.; FALCONER, S.; LEDGARD, S. Mapping the carbon footprint of milk production from cattle: A systematic review. **Journal of Dairy Science**, 2022.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência)**. Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência)**. Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.

MEHMOOD, I. et al. Carbon cycle in response to global warming. **Environment, climate, plant and vegetation growth**, p. 1 – 15, 2020.

MUNIDASA, S. et al. Challenges and opportunities for quantifying greenhouse gas emissions through dairy cattle research in developing countries. **Journal of Dairy Research**, v. 88, n. 1, p. 3-7, 2021.

NICHOLSON, S. A. et al. Storms drive outgassing of CO₂ in the subpolar Southern Ocean. **Nature communications**, v. 13, n. 1, p. 158, 2022

NOLAN, R. H. et al. Contrasting ecophysiology of two widespread arid zone tree species with differing access to water resources. **Journal of Arid Environments**, v. 153, p. 1-10, 2018a.

NOLAN, R. H. et al. Safeguarding reforestation efforts against changes in climate and disturbance regimes. **Forest ecology and management**, v. 424, p. 458-467, 2018b.

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.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. Greenhouse gas balance and mitigation of pasture-based dairy production systems in the Brazilian Atlantic Forest Biome. **Frontiers Veterinary Science**, v. 9, p. 958751, 2022.

ORTIZ-GONZALO, D. et al. Farm-scale greenhouse gas balances, hotspots and uncertainties in smallholder crop-livestock systems in Central Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 248, p. 58-70, 2017.

PERSSON, U. M.; HENDERS, S.; CEDERBERG, C. A method for calculating a land-use change carbon footprint (LUC-CFP) for agricultural commodities—applications to Brazilian beef and soy, Indonesian palm oil. **Global change biology**, v. 20, n. 11, p. 3482-3491, 2014., v. 20, n. 11, pág. 3482-3491, 2014.

PINTO, T. P. et al. Panorama Das Emissões De Metano E Implicações Do Uso De Diferentes Métricas. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, **Fundação Getúlio Vargas** - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. 2022. Disponível em: ><https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>< Acesso em: 22 de jun. 2023

PLACE, S. E.; MITLOEHNER, F. M. Pathway to Climate Neutrality for U.S. Beef and Dairy Cattle Production. **UC Davis Clean Center**. [s.n] disponível em: https://clear.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7876/files/inline-files/CLEAR%20Center%20Climate%20Neutrality%20White%20Paper_1.pdf acesso em: 16/08/2023.

PRADHAN, B.B.; CHAICHALOEMPREECHA, A.; LIMMEECHOKCHAI, B. GHG mitigation in Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector in Thailand. **Carbon Balance Manage**, v. 14, p. 3, 2019.

POEPLAU, C.; DON, A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. **Geoderma**, v. 192, p. 189-201, 2013.

QURESHI, M. I. et al. Dynamic linkages among energy consumption, air pollution, greenhouse gas emissions and agricultural production in Pakistan: sustainable agriculture key to policy success. **Natural Hazards**, v. 84, p. 367-381, 2016.

RABOT, E. et al. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122-137, 2018.

RAIHAN, A. et al. Dynamic impacts of energy use, agricultural land expansion, and deforestation on CO₂ emissions in Malaysia. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 29, n. 3, p. 477-507, 2022.

REICHLE, D.E. The global carbon cycle and the biosphere, Editor(s): David E. Reichle, The Global Carbon Cycle and Climate Change (Second Edition), **Elsevier**, 2023, cap. 10, p. 235-283a.

REICHLE, D.E. The global carbon cycle and the biosphere, Editor(s): David E. Reichle, The Global Carbon Cycle and Climate Change (Second Edition), **Elsevier**, 2023, p. 571-652b.

RICHARDS, M. et al. Limits of agricultural greenhouse gas calculators to predict soil N₂O and CH₄ fluxes in tropical agriculture. **Scientific Reports**, v. 1, p. 6, 2016

RISING, J.; TEDESCO, M., PIONTEK, F. et al. The missing risks of climate change. **Nature** v. 610, p. 643-651, 2022.

RIVERA, J. E.; CHAR, Á, J., BARAHONA, R. CH₄, CO₂ and N₂O emissions from grasslands and bovine excreta in two intensive tropical dairy production systems. **Agrofor. Syst**, v. 93, p. 915–928, 2018.

ROCHA, D. T.; DE RESENDE, J. C.; MARTINS, P. do C. Evolução tecnológica da atividade leiteira no Brasil: uma visão a partir do Sistema de Produção da Embrapa Gado de Leite. **Embrapa Gado de Leite-Documentos (INFOTECA-E)**, 2018.

ROSENZWEIG, C. et al. Climate change responses benefit from a global food system approach. **Nature Food**, v. 1, n. 2, p. 94-97, 2020.

ROSENSTOCK, T. S.; RUFINO, M. C., WOLLENBERG, E. Toward a protocol for quantifying the greenhouse gas balance and identifying mitigation options in smallholder farming systems. **Environ. Res. Lett**, v. 8, 021003, 2013.

ROTZ, C. A. Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 101, cap. 7, p. 6675-6690, 2018.

SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R., SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-

analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest ecology and management**, v. 433, p. 140-145, 2019.

SCHETTINI, B. L. S. et al. Silvopastoral systems: how to use them for carbon neutral milk production? **Carbon Management**, v. 12, n. 4, p. 377-384, 2021.

SCHLEUSSNER, C. F. et al. An emission pathway classification reflecting the Paris Agreement climate objectives. **Communications Earth & Environment**, v. 3, n. 1, p. 135, 2022.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases. **Análise das emissões brasileiras de gases do efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. 2021. Disponível em: < https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

SEJIAN, V. et al. Assessment of the carbon footprint of four commercial dairy production systems in Australia using an integrated farm system model. **Carbon Management**. v. 9, p. 57-70. 2018

SERRA, A. P. et al. Fundamentos técnicos para implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com eucalipto. **Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2019.

SHIMAMOTO, C. Y.; BOTOSSO, P. C., MARQUES, M. C. M. How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, V. 329, p. 1-9, 2014.

SILVA, F. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Avaliação de impacto do programa de agricultura de baixo carbono no Brasil**. Brasília: Ipea, 2020.

SYKES, A. J. **Developing an environmental calculator for application in the beef industry**. (Tese) University of Edinburgh, p. 315, 2019.

STEWART, E. K., et al. Effect of tannin-containing hays on enteric methane emissions and nitrogen partitioning in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 8, p. 3286-3299, 2019.

TAUTGES, N. E. et al. Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration differ in surface and subsurface soils. **Global change biology**, v. 25, n. 11, p. 3753-3766, 2019.

TELLES, T. S., et al. Milk production systems in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.

THOMA, J. P. et al. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. **International Dairy Journal**, v. 31, S. 1, 2013

UDDIN, M. E.; LARSON, R. A., WATTIAUX, M. A. Effects of dairy cow breed and dietary forage on greenhouse gas emissions from manure during storage and after field application. **Journal of Cleaner Production**, v. 270, p. 122461, 2020.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **What is a COP?** 2022. Disponível em: < <https://ukcop26.org/uk-presidency/what-is-a-cop/>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

USDA, United States Department of Agriculture. **Dairy Production and Trade Developments**. Foreign Agricultural Service/USDA, Global Market Analysis, 2021. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/dairy-world-markets-and-trade>> Acesso em: 08 mar. 2022.

VALLEJO, V. E., ROLDÁN, F., DICK, R. P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. **Biol. Fertil. Soils**, v. 46, p. 577–587, 2010.

VIDICAN, R. et al. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa da pecuária leiteira usando The Cool Farm Tool. **Journal of Applied Life Sciences and Environment**, v. 55, cap.3, 191 p. 323-333, 2023.

WILBANKS, T. J.; KATES, R. W. Global change in local places: how scale matters. **Climatic change**, v. 43, n. 3, p. 601-628, 1999.

WRI BRASIL, Word Resources Institute (Brasil). **Greenhouse gas protocol calculation tool for forestry in Brazil – Technical Note**. 2020. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/sites/default/files/ghg_protocolo-florestas-technicalnote.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2022.

WRI BRASIL, Word Resources Institute (Brasil). **The Land Use, Land-Use Change, and Forestry (LULUCF) Guidance for GHG Project Accounting (LULUCF Guidance)**. 2022. Disponível em: < https://files.wri.org/d8/s3fs-public/pdf/lulucf_guidance.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

ANEXO A

QUESTIONARIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – PECUÁRIA E MILHO

➤ Informações sobre a área de pecuária

Quadro 1. Dados da propriedade (indicações da fazenda)

	Detalhes	Unidade	Valor
Estado	-	-	Minas Gerais
Latitude	Converter unidade	graus	-21,00
Longitude	Converter unidade	graus	-46,00
Bioma	-	-	Mata atlântica - Mista

Quadro 2. Sistema de cultivo

	Detalhes	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	-	Argiloso
Teor de argila no solo	-	-	Menor que 60%
Uso anterior da terra	-	-	Pastagem degradada
Sistema de cultivo atual	-	-	Pastagem/pastagem melhorada
Tempo de adoção do sistema	-	-	Menor ou igual a 20 anos
Solos orgânicos	-	-	Não
Área da pastagem	-	hectare	16,00

Obs:

- Linha **Classe textural**: argiloso, arenoso ou médio.
- Linha **Teor de argila**: maior que 60% ou menos que 60%.
- Linha **Uso anterior da terra e Sistema de cultivo atual**: cultivo convencional, integração lavoura-pecuária, pastagem degradada, pastagem melhora com insumos, pastagem melhorada sem insumos, pastagem melhorada, plantio direto ou floresta nativa.
- Linha **Tempo de adoção do sistema**: maior que 20 anos ou menos que 20 anos.

Quadro 2.1. Diagnóstico de degradação da pastagem

	Detalhes	Unidade	Valor
Infestação por cupins	-	-	Muito baixa
Infestação por formigas	-	-	Muito baixa
Infestação por plantas daninhas	-	-	Muito baixa
Presença de erosão	-	-	Ausente
Taxa de lotação	-	Animais/hectare	Maior que 2,0

Diagnóstico de uso anterior da pastagem	-	-	Pastagem moderadamente degradada
---	---	---	----------------------------------

Obs:

- Linha **Infestação por cupins, formigas, plantas daninhas e presença de erosão**: muito alto, alta, baixa, muito baixa ou ausente.
- Linha **Taxa de lotação**: menor que 0,5; entre 0,51 e 0,80; entre 0,81 e 1,50; entre 1,51 e 2,0; ou maior que 2,0.

Quadro 3. Adubação

Adubação sintética	Detalhes	Unidade	Valor
Adubação nitrogenada sintética	Exceto ureia	kg/hectare	-
Teor de nitrogênio no adubo sintético	-	%	-
Ureia	-	kg/hectare	-
Correção e condicionamento de solo	Detalhes	Unidade	Valor
Calcário calcítico	-	kg/hectare	500,00
Calcário dolomítico	-	kg/hectare	-
Adubação orgânica	Detalhes	Unidade	Valor
Composto orgânico	-	kg/hectare	20.000,00
Esterco	Bovino, equino, suíno ou ovino	kg/hectare	-
Esterco	Avícola	kg/hectare	-
Outros	-	kg/hectare	-
Adubação verde	Detalhes	Unidade	Valor
Leguminosa	Produção	kg/hectare	-
Gramínea	Produção	kg/hectare	-
Outros	Produção	kg/hectare	-

Quadro 4. Rebanho

Animal	Sexo	Idade do rebanho	Número de animais	Manejo de dejetos	Data de entrada	Data de saída
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	7	Armazenamento sólido	01/01/2010	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	5	Armazenamento sólido	01/01/2012	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	01/06/2013	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	22/02/2014	31/12/2021

Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	4	Armazenamento sólido	01/10/2014	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	30/03/2015	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	01/07/2015	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	20/08/2015	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	01/11/2015	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	4	Armazenamento sólido	06/02/2016	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	4	Armazenamento sólido	01/06/2016	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	04/02/2017	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	03/05/2017	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	22/11/2017	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	5	Armazenamento sólido	10/01/2018	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	18/02/2018	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	22/04/2018	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	11	Armazenamento sólido	07/06/2018	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	2	Armazenamento sólido	23/08/2018	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	4	Armazenamento sólido	13/02/2019	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	22/03/2019	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	02/05/2019	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	1	Armazenamento sólido	29/06/2019	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Acima de 24 meses	5	Armazenamento sólido	17/11/2019	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	4	Armazenamento sólido	12/02/2020	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	4	Armazenamento sólido	08/05/2020	31/12/2021

Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	4	Armazenamento sólido	22/08/2020	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	2	Armazenamento sólido	13/10/2020	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 12 e 24 meses	12	Armazenamento sólido	23/11/2020	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 6 e 12 meses	7	Armazenamento sólido	12/02/2021	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 6 e 12 meses	5	Armazenamento sólido	26/05/2021	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 0 e 6 meses	10	Armazenamento sólido	28/07/2021	31/12/2021
Bovino de leite	Fêmea	Entre 0 e 6 meses	6	Armazenamento sólido	14/11/2021	31/12/2021

Obs:

- Coluna **Animal**: bovino de corte, bovino de leite, suíno, asinino, bubalino, caprino, codorna, equino, frango/pinto, galinha de corte, galo, muare, ovino ou poedeira.
- Coluna **Sexo**: macho ou Fêmea.
- Coluna **Idade do rebanho**: 0 a 6 meses; 6 a 12 meses; 12 a 24 meses; acima de 24 meses.
- Coluna **Número de Animais**: se 2 ou mais agrupados, colocar o número de animais do mesmo grupo, ou poderá apenas preencher cada linha com cada animal.
- Coluna **Opções de manejo**: Animais em pastagem; Armazenamento Sólido; Dry Lot; Esterqueira; Lagoa Anaeróbica; Poços Abaixo do Confinamento; Queimado como combustível.
- Coluna **Data de entrada e Data de saída**: data de entrada do animal na propriedade com fechamento na data de saída em dezembro de 2021.

Quadro 5. Consumo de combustível – operações mecanizadas (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação de consumo	-	-	Quantidade consumida
Quantidade consumida	-	litro	-

Obs:

- Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)
- Linha **Tipo de quantificação de consumo**: quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 6. Consumo de combustível – operações internas (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina	-	litro	280,00
Etanol hidratado	-	litro	-

Quadro7. Consumo de combustível – transporte da produção (dentro de 1 ano)

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Quantidade consumida	-	litro	3.600,00

Obs:

- Linha **Tipo de combustível:** Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

➤ **Informações sobre a área de produção de milho****Quadro 1. Sistema de cultivo**

	Unidade	Valor
Data de plantio	-	22/01/2021
Data de colheita	-	03/05/2021
Classe textural do solo	-	Argiloso
Teor de argila no solo	-	Menor que 60%
Uso anterior da terra	-	Pastagem degradada
Sistema de cultivo atual	-	Cultivo convencional
Tempo de adoção do sistema	-	Menor ou igual a 20 anos
Manejo de resíduos vegetais	-	Decomposição
Solos orgânicos	-	Não
Área cultivada	hectare	46,00
Produtividade média	tonelada/hectare	32,00

Obs:

- Linha **Classe Textural do solo:** Arenoso, médio ou argiloso
- Linha **Teor de argila no solo:** menor que 60% ou maior de 60%
- Linha **Uso Anterior da terra:** Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Paricá (se já havia Paricá naquela área), Pastagem ou Pastagem Degradada
- Linha **Sistema de cultivo atual:** convencional, integração lavoura-pecuária ou plantio direto
- Linha **Tempo de adoção do sistema:** menor que 20 anos ou maior que 20 anos
- Linha **Manejo de resíduos vegetais:** decomposição ou queima

Quadro 2. Adubação

Adubação sintética	Detalhes	Unidade	Valor
Adubação nitrogenada sintética	Exceto ureia	kg/hectare	800,00
Teor de nitrogênio no adubo sintético	-	%	21,00
Ureia	-	kg/hectare	0
Correção e condicionamento de solo			
	Detalhes	Unidade	Valor
Calcário calcítico	-	kg/hectare	0
Calcário dolomítico	-	kg/hectare	1000,00
Adubação orgânica			
	Detalhes	Unidade	Valor
Composto orgânico	-	kg/hectare	0
Esterco	Bovino, equino, suíno ou ovino	kg/hectare	0
Esterco	Avícola	kg/hectare	0
Outros	-	kg/hectare	0
Adubação verde			
	Detalhes	Unidade	Valor
Leguminosa	Produção	kg/hectare	0
Gramínea	Produção	kg/hectare	0
Outros	Produção	kg/hectare	0

Quadro 3. Consumo de combustíveis das operações mecanizadas

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação de consumo	-	-	Operações mecanizadas

Obs:

- Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)
- Linha **Tipo de quantificação de consumo**: operações mecanizadas ou quantidade consumida

Quadro 4. Operações mecanizadas

Operação mecanizada	Detalhes	Unidade	Valor
Pré-implantação			
Gradagem aradora	-	Nº de repetições	1,00
Gradagem niveladora	-	Nº de repetições	2,00
Calagem	-	Nº de repetições	0
Implantação			

Plantio com adubação	-	Nº de repetições	1,00
1			
Manutenção			
Adubação de cobertura	-	Nº de repetições	1,00
Aplicação de inseticida	-	Nº de repetições	2,00
Aplicação de herbicida	-	Nº de repetições	0
Colheita			
Colheita	-	Nº de repetições	1,00

Quadro 5. Consumo de combustível nas operações internas da propriedade

	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina	-	litro	-
Etanol hidratado	-	litro	-

Quadro 6. Consumo de combustível no transporte externo da produção

	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Quantidade consumida	-	litro	-

- Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

ANEXO B

QUESTIONARIO INVENTÁRIO DE EMISSÕES – EUCALIPTO, SILVIPASTORIL,
APP E RESERVA LEGAL

➤ Informações sobre a área de produção de eucalipto

Quadro 1. Sistema de cultivo

-	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	Argiloso
Uso anterior do solo	-	Pastagem degradada
Ano de plantio	-	2011
Espécie	-	<i>E. urograndis</i>
Área plantada	hectare	5,0
Espaçamento de plantio	-	3,0 x 2,0
Produtividade atingível	m ³ /hectare.ano	-

Obs:

- Linha **Classe Textural do solo** classificar de acordo com as opções: Arenoso, Médio ou Argiloso
- Linha **Uso Anterior da terra** classificar de acordo com as opções: Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Paricá (se já havia Paricá naquela área), Pastagem, Pastagem Degradada
- Linha **Espécie**: *E. camadulensis*, *E. citriodora*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. saligna*, *E. urograndis*, *E. urophylla*.

Nota: foram lançados dados referentes a três (3) anos, porém o sistema possui previsão para vinte e um (21) anos

Quadro 2. Houve queima de biomassa por incêndio? Se sim, preencher a Quadro abaixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Parcela da área total	%	20
2º Ano	Parcela da área total	%	80
3º Ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 3. Houve adubação na área? Qual a adubação utilizada na área? Preencha os quadros de acordo com a adubação correspondente (escolhendo uma ou mais tipos de adubação) (desde o plantio)

Quadro 3.1. Adubação nitrogenada sintética (exceto ureia)

-	Detalhe	Unidade	Valor	Unidade	Teor de nitrogênio
1º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-
2º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-

3º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-
--------	--------------	------------	---	---	---

Quadro 3.2. Adubação nitrogenada sintética (apenas ureia)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-
2º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-
3º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-

Quadro 3.3 Adubação orgânica

-	Detalhe	Unidade	Lodo puro	Lodo composto
1º Ano	-	kg/hectare	-	-
2º Ano	-	kg/hectare	-	-
3º Ano	-	kg/hectare	-	-

Quadro 4. Houve correção e condicionamento de solo? Se sim, preencha a Quadro abaixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Calcário calcítico	Calcário dolomítico
1º Ano	-	kg/hectare	-	-
2º Ano	-	kg/hectare	-	-
3º Ano	-	kg/hectare	-	-

Quadro 5. Consumo de combustível das operações mecanizadas

-	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	-
Tipo de quantificação de consumo	Período total	-	-

Obs:

- Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)
- Linha **Tipo de quantificação de consumo**: Quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 6. Consumo de combustível nas operações internas na propriedade

-	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina comum	Período total	Litro	-
Etanol hidratado	Período total	Litro	-

Quadro 7. Houve corte ou desgaste anual da espécie? Se sim, preencher a Quadro abaixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Parcela da área total	%	-
2º Ano	Parcela da área total	%	-
3º Ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 8. Consumo de combustível no transporte externo da produção (desde o plantio)

	Detalhes	Tipo	Unidade	Valor
1º Ano	Total consumido	-	Litro	-
2º Ano	Total consumido	-	Litro	-
3º Ano	Total consumido	-	Litro	-

Obs: **Tipo** classificar de acordo com as opções: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

➤ **Informações sobre a área de produção silvipastoril**

Quadro 1. Sistema de cultivo

	Detalhes	Unidade	Valor
Classe textural do solo	-	-	Argiloso
Uso anterior do solo	-	-	Pastagem degradada
Ano de plantio	-	-	2019
Área plantada	-	hectare	1,0

Obs:

- **Linha Classe Textural do solo:** Arenoso, médio ou argiloso
- **Linha Uso Anterior da terra:** Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Pastagem Degradada e Sistema Silvipastoril

Quadro 2. Seleção de espécies

Crotália – <i>Crotalaria Ochroleuca</i>
Mutambo – <i>Guazuma ulmifolia</i>
Canafistula – <i>Peltophorum dubium</i>
Paricá – <i>Schizolobium amazonicum</i>
Ipê rosa – <i>Handroanthus avellanadae</i> – substituída por <i>Ipê Amarelo</i>
Macadâmia – <i>Macadamia integrifolia</i>
Angico-branco - <i>Anadenanthera colubrina</i>
Angico-vermelho - <i>Anadenanthera macrocarpa</i> – substituída por <i>Angico-vermelho – P. pterosperma</i>
Ingá-mirim - <i>Inga laurina</i>
Ingá-cipó - <i>Inga edulis</i> ou <i>Inga uruguensis</i>
Araça-roxo - <i>Psidium myrtoides</i>
Araça-amarelo - <i>Psidium catteyanum</i>
Pitanga – <i>Eugenia uniflora</i>
Cereja do Rio Grande – <i>Eugenia involucrata</i>
Uvaia – <i>Eugenia pyriformis</i>

Quadro 2.1. Sistema de cultivo do Paricá

Detalhes	Unidade	Valor
-	Árvores/hectare	29

Quadro 2.2. Distribuição da composição florestal das espécies madeireiras

-	Detalhes	Unidade	Valor
Angico-vermelho (<i>A. colubrina</i>)	-	Árvores/hectare	34
Angico-vermelho (<i>P. pterosperma</i>)	-	Árvores/hectare	28
Canafístula (<i>P. dubium</i>)	-	Árvores/hectare	50
Ipê-amarelo (<i>Tabebuia</i> sp.)	-	Árvores/hectare	28
Mutambo (<i>G. ulmifolia</i>)	-	Árvores/hectare	50

Quadro 2.3. Distribuição da composição florestal das espécies frutíferas

-	Detalhes	Unidade	Valor
Araçá-amarelo (<i>P. cattleianum</i>)	-	Árvores/hectare	5
Araçá-icica (<i>P. myrtoides</i>)	-	Árvores/hectare	5
Cereja-do-Rio-Grande (<i>E. involucrata</i>)	-	Árvores/hectare	5
Inga-banana (<i>I. laurina</i>)	-	Árvores/hectare	39
Ingá-cipó (<i>I. edulis</i>)	-	Árvores/hectare	42
Macadamia (<i>M. integrifolia</i>)	-	Árvores/hectare	32
Pitanga (<i>E. uniflora</i>)	-	Árvores/hectare	5
Uvaia (<i>E. pyriformis</i>)	-	Árvores/hectare	5

Quadro 3. Explorações econômicas anuais

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Plantio direto	Meses	-
2º Ano	Plantio direto	Meses	-
3º Ano	Plantio direto	Meses	-

Quadro 4. Houve queima de biomassa por incêndio? Se sim, preencher a Quadro abaixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Parcela da área total	%	20
2º Ano	Parcela da área total	%	80
3º Ano	Parcela da área total	%	-

Quadro 5. Houve adubação na área? Qual a adubação utilizada na área? Preencha os quadros de acordo com a adubação correspondente (escolhendo uma ou mais tipos de adubação) (desde o plantio)

Nota: Foram lançados valores para três (3) anos de cálculo, porém o sistema tem previsão para quarenta (40) anos.

Quadro 5.1. Adubação nitrogenada sintética (exceto ureia)

-	Detalhe	Unidade	Valor	Unidade	Teor de nitrogênio
1º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-

2º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-
3º Ano	Exceto ureia	kg/hectare	-	%	-

Quadro 5.2. Adubação nitrogenada sintética (apenas ureia)

-	Detalhe	Unidade	Valor
1º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-
2º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-
3º Ano	Apenas ureia	kg/hectare	-

Quadro 5.3 Adubação orgânica

-	Detalhe	Unidade	Lodo puro	Lodo compost	Composto orgânico	Esterco
1º Ano	-	kg/hectare	-	-	-	15
2º Ano	-	kg/hectare	-	-	-	-
3º Ano	-	kg/hectare	-	-	-	-

Quadro 5.4 Adubação Verde

-	Detalhe	Unidade	Gramínea	Leguminosa	Outros
1º Ano	-	kg/hectare	-	10	-
2º Ano	-	kg/hectare	-	-	-
3º Ano	-	kg/hectare	-	-	-

Quadro 6. Houve correção e condicionamento de solo? Se sim, preencha a Quadro abaixo (desde o plantio)

-	Detalhe	Unidade	Calcário calcítico	Calcário dolomítico
1º Ano	-	kg/hectare	-	-
2º Ano	-	kg/hectare	-	-
3º Ano	-	kg/hectare	-	1300

Quadro 7. Consumo de combustível nas operações mecanizadas

-	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de combustível	-	-	Diesel B10
Tipo de quantificação de consumo	Período total	-	Quantidade consumida
Diesel e biodiesel	-	litro	90

Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10)

- Linha **Tipo de quantificação de consumo**: Quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 8. Consumo de combustível nas operações semimecanizadas

-	Detalhes	Unidade	Valor
Tipo de quantificação de consumo	Período total	-	Quantidade consumida
Gasolina	-	litro	10

- Linha **Tipo de quantificação de consumo**: Quantidade consumida ou operações mecanizadas.

Quadro 9. Consumo de combustível nas operações internas

-	Detalhes	Unidade	Valor
Gasolina comum	Período total	litro	5
Etanol hidratado	Período total	litro	-

Quadro 10. Corte ou desbaste - espécies madeireiras

-	Detalhes	Unidade	Ritmo de cresc. rápido	Ritmo de cresc. moderado	Ritmo de cresc. lento
1º Ano	Por grupo de crescimento	%	-	-	-
2º Ano	Por grupo de crescimento	%	-	-	-
3º Ano	Por grupo de crescimento	%	-	-	-

Quadro 11. Corte ou desbaste anual – espécies comerciais

-	Detalhes	Unidade	Eucalipto	Pinus	Paricá
1º Ano	-	%	-	-	-
2º Ano	-	%	-	-	-
3º Ano	-	%	-	-	-

Quadro 12. Consumo de combustível no transporte externo da produção

-	Detalhes	Tipo	Unidade	Valor
1º Ano	Total consumido	-	litro	-
2º Ano	Total consumido	-	litro	-
3º Ano	Total consumido	-	litro	-

Linha **Tipo de combustível**: Diesel (puro, B2, B5, B6, B7, B8, B9, B10).

- **Informações sobre a área de preservação permanente e reserva legal**

Quadro 1. Sistema de cultivo

-	Detalhes	Unidade	Valor
---	----------	---------	-------

Classe textural do solo	-	-	Argiloso
Uso anterior do solo	-	-	Pastagem degradada
Ano de plantio	-	-	2008
Área plantada	-	hectare	45,00

Obs:

- Linha **Classe Textural do solo**: Arenoso, médio ou argiloso
- Linha **Uso Anterior da terra**: Agricultura, Área degradada, Floresta Nativa, Pastagem Degradada e Sistema Silvipastoril

Quadro 2. Seleção de espécies

Crotália – <i>Crotalaria Ochroleuca</i>
Mutambo – <i>Guazuma ulmifolia</i>
Canafístula – <i>Peltophorum dubium</i>
Paricá – <i>Schizolobium amazonicum</i>
Ipê rosa – <i>Handroanthus avellaneda</i> – substituída por <i>Ipê Amarelo</i>
Macadâmia – <i>Macadamia integrifolia</i>
Angico-branco - <i>Anadenanthera colubrina</i>
Angico-vermelho - <i>Anadenanthera macrocarpa</i> – substituída por <i>Angico-vermelho – P. pterosperma</i>
Ingá-mirim - <i>Inga laurina</i>
Ingá-cipó - <i>Inga edulis</i> ou <i>Inga uruguensis</i>
Araça-roxo - <i>Psidium myrtoides</i>
Araçá-amarelo - <i>Psidium catteyanum</i>
Pitanga – <i>Eugenia uniflora</i>
Cereja do Rio Grande – <i>Eugenia involucrata</i>
Uvaia – <i>Eugenia pyriformis</i>

Quadro 2.1. Sistema de cultivo do Paricá

Detalhes	Unidade	Valor
-	Árvores/hectare	29

Quadro 2.2. Distribuição da composição florestal das espécies madeireiras

-	Detalhes	Unidade	Valor
Angico-vermelho (<i>A. colubrina</i>)	-	Árvores/hectare	34
Angico-vermelho (<i>P. pterosperma</i>)	-	Árvores/hectare	28
Canafístula (<i>P. dubium</i>)	-	Árvores/hectare	50
Ipê-amarelo (<i>Tabebuia sp.</i>)	-	Árvores/hectare	28
Mutambo (<i>G. ulmifolia</i>)	-	Árvores/hectare	50

Quadro 2.3. Distribuição da composição florestal das espécies frutíferas

-	Detalhes	Unidade	Valor
---	----------	---------	-------

Araçá-amarelo (<i>P. cattleianum</i>)	-	Árvores/hectare	5
Araçá-icica (<i>P. myrtoides</i>)	-	Árvores/hectare	5
Cereja-do-Rio-Grande (<i>E. involucrata</i>)	-	Árvores/hectare	5
Inga-banana (<i>I. laurina</i>)	-	Árvores/hectare	39
Ingá-cipó (<i>I. edulis</i>)	-	Árvores/hectare	42
Macadamia (<i>M. integrifolia</i>)	-	Árvores/hectare	32
Pitanga (<i>E. uniflora</i>)	-	Árvores/hectare	5
Uvaia (<i>E. pyriformis</i>)	-	Árvores/hectare	5

Obs: Para a área de preservação permanente (APP) e reserva legal, os cálculos foram estimados da mesma forma utilizada na área silvipastoril (mesmo formato de formulário). Seguiu-se desta forma por apresentar ser uma área fechada desde 2008, sem intervenção humana, com dificuldade de identificação das espécies e quantidades, adotando assim as informações similares da área silvipastoril. As Quadros 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 do questionário de APP e reserva legal não foram adicionadas informações, permanecendo em branco e por isso não foram anexadas neste documento.

ANEXO C

QUESTIONARIO DE EMISSÕES – PECUÁRIA (LATICÍNEOS), SOLO E LAVOURA

Análise de milho

1. Características do solo

Especificou-se as características da terra onde a cultura selecionada é cultivada. As escolhas nesta seção afetam muitas fontes de emissões de gases de efeito estufa, assim como o resultado geral das "emissões por hectare".

Dados de entrada	
Textura do solo	lodo (médio)
Média de umidade do solo	Úmido
Matéria orgânica do solo %	Valor personalizado
Matéria orgânica do solo personalizada	24,000
Anos anteriores	0
Carbono orgânico do solo	-
Drenagem do solo	Bom
PH do solo	pH <= 5.5

2. Combustível, energia e gás; águas residuais

Uso direto de energia

Foram inseridos dados para eletricidade e combustíveis utilizados para a produção de culturas e processamento na fazenda

Uso de energia 1	
Fonte de energia	Diesel
Energia utilizada	2.000 litros
Categoria	Campo
Rótulo	-

Detalhes da cultura

Dados de entrada	
Nome da cultura	Milho
Ano de colheita	2021
Área de cultivo	45 hectares
Montante colhido (total)	880 toneladas
Quantidade de produto acabado	880 toneladas
Nome da avaliação	2022_Brazil_SE

2.1 Gerenciamento de resíduos de culturas

Dados de entrada	
Valor residual	0 toneladas / há
Gerenciamento de resíduos	Distribuído à esquerda no campo, ou incorporado

3. Entradas

Foram inseridos dados sobre as entradas de fertilizantes e aplicações de proteção à cultura antes, durante e depois de sua cultura.

Insumos de fertilizantes

Tipo de fertilizante Componha sua própria NPK	Aplicação de fertilizantes 1	de	Aplicação de fertilizantes 2
	(42,25 kg / ha N)		(150,00 kg / ha N)
Fabricado em	S América 2014		S América 2014
% N	13		30
% N (como amônio-N)	0		0
% N (como nitrato N)	0		0
% N (como ureia-N)	13		30
% P ₂ O ₅ ou % P	33 P ₂		0 P ₂
% K ₂ O ou % K	0 K ₂		10 K ₂
Taxa de aplicação	325 Kg / há		500 Kg / há
Peso dos fertilizantes, ou unidades?	Produto		Produto
Método de aplicação	Incorporar		Incorporar
Data da aplicação	-		-

Entradas de proteção de culturas

Inseriu-se dados para aplicações de pesticidas, fumegantes, herbicidas, fungicidas.

Aplicação de proteção de cultivos 1			
Categoria	Tipo	Taxa de aplicação	Ingrediente ativo
Pós-emergência	Pesticida	9 kg/há	1%
Pós-emergência	Inseticida	23 kg/há	1%
Pós-emergência	Pesticida	135 kg / há	1%
Tratamento de semente	Herbicida	246 kg / há	1%

4. Transporte

Para cada modo de transporte, calculou-se o peso das mercadorias e as distâncias transportadas.

-	Entrada 1	Entrada 2	Entrada 3	Entrada 4
Modo	LGV diesel rodoviário (veículo leve de mercadoria)	LGV diesel rodoviário (veículo leve de mercadoria)	LGV gasolina rodoviária (veículo leve de mercado)	road HGV (veículo pesado de carga médio)
Peso	20 Kg	1.325 Kg	413 Kg	13 Ton
Distância	11 Km	11 Km	11 Km	11 Km

Análise de pecuária

1. Produção de leite

Especificou-se as características básicas sobre a produção de leite para o período de referência avaliado.

Dados de entrada	
Raça principal	Jersey
Início do ano de referência	Janeiro de 2021
Fim do ano de referência:	Valor personalizado
Nome da avaliação	2022 Brazil SE
Produção total de leite	282.510 Litros
Teor de gordura	4,07
Verdadeiro conteúdo proteico	43

2. Energia e gás; processamentos

Digitou-se os dados para uso de energia, selecionou-se a fonte de energia e a quantidade utilizada durante seu período de referência de um ano. Incluiu-se a energia (combustível/eletricidade) utilizada na produção de gramíneas (áreas de pastagem, feno, ensilagem).

Uso de energia 1	
Fonte 1 de energia	eletricidade (rede)
Energia utilizada	14.400 kWh
Fonte 2 de energia	diesel
Energia utilizada	2.400Litros

3. Pastoreio

As informações foram utilizadas para estimar o tempo de pastagem: total de dias e média de horas por dia de pastejo e a seleção do tipo e qualidade da pastagem.

Dados de entrada				
Categoria	Dias	Horas / dia	Tipo de pastagem	Qualidade da pastagem
Bezerros leiteiros 0-1 ano para substituição de vacas leiteiras	365	24	Pastagem	Alta
Novilhas 1 ano até o primeiro parto	270	24	Pastagem	Alta
Vacas leiteiras vacas leiteiras em lactação	270	18	Pastagem	Alta
Vacas secas vacas leiteiras não em lactação	30	24	Pastagem	Alta

4. Rações

Foram inseridos os valores de consumo de matéria seca (CMS), selecionou-se o primeiro método.

DMI médio do rebanho/dia 45,34 kg. Bezerros leiteiros Bezerros leiteiros média DMI/dia: 2,30 kg.

Bezerros Leiteiros	-	-
Componente de alimentação	Capim fresco manejado	Limite do sistema: na fazenda
Região	Global	-
DM / animal / dia	0,5	Kg
Utilizar o valor da matéria seca calculado pela ferramenta	0	0
Componente de alimentação	Ração leiteira campo	0
Região	Global	-
DM / animal / dia	1,8	Kg
Certificado	-	-

Novilhas	-	-
Componente de alimentação	Produto2022_Brazil_SE	Limite do sistema: na fazenda
DM / animal / dia	4,46	Quilogramas
Componente de alimentação	-2022_Brazil_SE	Limite do sistema: na fazenda
DM / animal / dia	3,5	Quilogramas
Componente de alimentação	Soja torta / farelo	Limite do sistema: na fábrica
Região	Brasil	
DM / animal / dia	0,5	Quilogramas
Componente de alimentação	Mistura mineral	Limite do sistema: na fábrica
Região	Global	
DM / animal / dia	0,2	Quilogramas

Vacas Leiteiras		
Componente de alimentação	-2022_Brazil_SE	Limite do sistema: na fazenda
DM / animal / dia	7,9	Quilogramas
Componente de alimentação	2022_Brazil_SE	Limite do sistema: na fábrica
DM / animal / dia	7	Quilogramas
Componente de alimentação	Mistura mineral	Limite do sistema: na fábrica
Região	Global	-
DM / animal / dia	0,38	Quilogramas
Componente de alimentação	-Soja torta / farelo	Limite do sistema: na fábrica
Região	Brasil	-
DM / animal / dia	1,62	Quilogramas
Componente de alimentação	Milho / milho em grãos	Limite do sistema: na fazenda
Região	Global	-
DM / animal / dia	5,28	Quilogramas
Região	Global	-

Vacas Secas	-	-
Componente de alimentação	-2022_Brazil_SE_Caio	Limite do sistema: na fazenda
DM / animal / dia	8	Quilogramas
Componente de alimentação	Mistura mineral	Limite do sistema: na fábrica
Região	Global	-
DM / animal / dia	0,2	Quilogramas
Componente de alimentação	-Soja torta / farelo	Limite do sistema: na fábrica
Região	Brasil	-
DM / animal / dia	0,5	Quilogramas
Componente de alimentação	Milho / milho em grãos	Limite do sistema: na fazenda
Região	Global	-
DM / animal / dia	3,5	Quilogramas

5. Rebanho

Inseriu-se dados numéricos animais na fazenda para o ano de referência, o número de animais vendidos e o número de animais comprados.

Categoria	Animais na fazenda		Animais vendidos		Animais comprados	
	Número	Peso vivo	Número	Peso vivo	Número	Peso vivo
Bezerros leiteiros 0-1 ano (substituição de vacas leiteiras)	63	117	0	117	0	117
Novilhas 1 ano até o primeiro parto	24	285	0	285	0	285
Vacas leiteiras vacas leiteiras em lactação	43	393	0	393	0	393
Vacas secas vacas leiteiras não em lactação	7	425	0	425	0	425
Bezerros de corte 0-1 ano (produção de carne bovina)	0	163	0	163	0	163
Enfermagem/amamentação de vacas	0	393	0	393	0	393

6. Transporte

O transporte foi feito ao estimar o peso das mercadorias e as distâncias transportadas.

Modo	1-Road HGV	2-Road HGV	3-Road HGV	4-Road HGV
Peso	8 toneladas	14 toneladas	700 toneladas	150 toneladas
Distância	22 quilômetros	110 quilômetros	11 quilômetros	11 quilômetros

Análise de Solos

1. Características do solo

Especificou-se as características da terra onde a cultura selecionada é cultivada.

Dados de entrada	
Textura do solo	lodo (médio)
Média de umidade do solo	Úmido
Matéria orgânica do solo %	Valor personalizado
Matéria orgânica do solo personalizada	24,000
Mensurado anos atrás	1
Carbono orgânico do solo	13,95
Drenagem do solo	Bom
PH do solo	5.5 < pH <= 7.3

2. Combustível, energia e gás; águas residuais

Digitou-se os dados para combustível e eletricidade.

Uso direto de energia

Foram inseridos dados para eletricidade e combustíveis utilizados para a produção de culturas e processamento na fazenda

Uso de energia 1	
Fonte de energia	Petrol
Energia utilizada	15 litros
Categoria	Campo

3. Detalhes da cultura

Dados de entrada	
Nome da cultura	Gramma perene
Ano de colheita	2021
Área de cultivo	33,5 hectares
Montante colhido (total)	2.680 toneladas
Quantidade de produto acabado	2.680 toneladas
Nome da avaliação	2022 Brazil SE

3.1 Gerenciamento de resíduos de culturas

Dados de entrada	
Valor residual	21,6 toneladas / ha
Gerenciamento de resíduos	Distribuído à esquerda no campo, ou incorporado

4. Entradas

Foram inseridos dados sobre as entradas de fertilizantes e aplicações de proteção à cultura antes, durante e depois de sua cultura.

5. Insumos de fertilizantes

Tipo de fertilizante	Aplicação de fertilizantes 1
Esterco de bovino - 0,6% N	(30,00 kg / ha N)
Taxa de aplicação	5 toneladas / ha
Peso dos fertilizantes, ou unidades?	Produto
Método de aplicação	Incorporar

Mudanças e sequestro de carbono

Relacionar o carbono armazenado ou liberado do solo devido a mudanças nas práticas de manejo, como florestamento, cultivo ou incorporação de resíduos de cultivo.

Em mudanças no carbono da cultura

-	Mudança anterior 1	Mudança anterior 2
Ano de mudança	2019	2016
Alocação	1%	100%
Uso da terra	Floresta Nativa Cultivada	Cultivado (sem alteração)
Lavoura	Total (sem alteração)	Total (sem alteração)

Entradas de carbono	de	Alto teor de C com esterco (sem alteração)	Média entrada de C >> Alta entrada de C com esterco
---------------------	----	--	---

6. Mudanças de biomassa da cultura

Mudanças anuais para a biomassa das árvores que crescem dentro ou imediatamente adjacentes à área de avaliação do campo.

Espécies de árvores 1	
Escolha as espécies de árvores	Madeira tropical úmida
Densidade no ano passado	15 árvores / hectare
Tamanho no ano passado	5 centímetros
Tamanho este ano	5,6 centímetros
Árvores plantadas/perdidas	0 árvores / hectare

ANEXO D

Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa – GHG Protocol

1. Resumo das emissões por escopo

-	Escopo	GEE (tonelada)			CO ₂ eq. (tonelada)			Total
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
Milho, pastagem e pecuária	Escopo 1	38,89	0,93	23,59	38,89	252,81	672,24	964,78
	Escopo 3	9,59	0,0	0,0	9,59	0,02	0,03	9,64
Eucalipto e Silvistoril	Escopo 1	0,86	0	0	0,86	0	0	0,86
APP e Reserva Legal	Escopo 1	0	0	0	0	0	0	0

Emissões e remoções de uso e ocupação do solo e remoções por processos biogênicos (tonelada de CO₂)

-	Mudança de uso e ocupação do solo	Emissão biogênica	Remoção biogênica
Milho, pastagem e pecuária	-23,9118	1,460327	-
Eucalipto e Silvistoril	-3.551,25	0,02	1,82
APP e Reserva Legal	-33.652,9	-	-

2. Indicador de eficiência (tonelada de CO₂ equivalente) – emissões líquidas

Escopo 1 + Escopo 2 ± Processos biogênicos ± Mudança de uso e ocupação do solo	
Milho, pastagem e pecuária	941,48
Eucalipto e Silvistoril	-3.552,21
APP e reserva legal	-33.652,9

Nota: Valores não apresentados são equivalentes a zero (0).

3. Balanço final da propriedade – emissões líquidas

-	Emissões/Sequestros	Ciclo/ano	Projeção (1 ano)
Pecuária, pasto e milho	941,48	1	941,48
APP e Reserva Legal	-33.652,91	40	-841,32
Eucalipto	-2.810,97	21	-133,86
Silvistoril	- 741,24	40	-18,53
-		Total em ton. de CO ₂ eq.	- 52,23

Nota: O valor final apresentado é para a projeção de 1 ano, devendo seguir este padrão para a construção do Inventário de Emissões.

ANEXO E

Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa – Cool Farm Tool

1. Resumo das emissões

-	Escopo	CO ₂ eq. (tonelada)	Emissões por kg FPCM (CO ₂ eq.)
Pastagem e pecuária	Escopo 1	432,74	1,46
	Escopo 3	0,185	-
-			
-	Escopo	Emissões (tonelada de CO ₂ eq.)	Emissões por hectare (tonelada de CO ₂ eq.)
Milho	Escopo 1	108,12	2,70
Solo	Escopo 1	-826,74	-24,68

Emissões do transporte do milho

Resultados detalhados de pastagem e pecuária (Toneladas de CO₂-eq.)

-	Emissões de esterco	Emissões entéricas	Emissões de pastagens	Emissões de ração
Bezerros leiteiros	0,214 (12,4%)	27,354 (9,7%)	7,94 (21,3%)	27,19 (26,4%)
Novilhas	0,375 (21,7%)	43,428 (15,4%)	7,64 (20,5%)	0
Vacas leiteiras	1,126 (65,1%)	194,01(68,8%)	21,29 (57,1%)	7549,9 (73,3%)
Vacas secas	0,013 (0,80%)	17,202 (6,1%)	0,41 (1,10%)	30,9 (0,30)
Total	1,73 (100%)	282 (100%)	37,3 (100%)	103 (100%)

2. Resultados detalhados de milho (Toneladas de CO₂-eq.)

-	Produção de fertilizantes	Energia, combustível e emissões de água	Emissões de transporte
Componha sua própria NPK	74,998 (73,6%)	-	-
Diesel	-	6,2 (100%)	-
LGV diesel rodoviário (veículo leve de mercadorias <3,5t)	-	-	89,32 (31,9%)
LGV gasolina rodoviária (veículo leve de mercadorias <3,5t)	-	-	33,32 (11,9%)
Road HGV (average heavy goods vehicle)	-	-	156,24 (55,8%)
Total	101,9 (100%)	6,2 (100%)	280 (100%)

Resultados detalhados do solo (Toneladas de CO₂-eq.)

	Estoques e pias de carbono	Energia, combustível e emissões de água
Petróleo	-	66
Mudanças nas práticas de gestão	-890	-
Madeira tropical úmida	-1,1	-

3. Balanço final da propriedade – emissões líquidas

-	Emissões/Sequestros
Pecuária e pastagem	432,74
Milho	108,12
Solo	-826,74
Total em ton. de CO ₂ -eq.	-285,26