



POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Estudo de Caso Minerva Foods

POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PECUÁRIA

Estudo de Caso Minerva Foods

Projeto desenvolvido pela Minerva Foods em conjunto à Embrapa, FGV e Unicamp para calcular o balanço de gases de efeito estufa em propriedades fornecedoras de gado.

AUTORES

Talita Priscila Pinto

Pesquisadora do Centro de Agronegócio | Fundação Getúlio Vargas

Vanessa Silva Pugliero

Especialista em Sustentabilidade do programa Renove | Minerva Foods

Fernanda Reis Cordeiro

Coordenadora Corporativa do programa Renove | Minerva Foods

João Paulo da Silva

Doutorando e Consultor do Projeto | Universidade Estadual de Campinas, Unicamp

SUPERVISÃO E REVISÃO:

Eduardo Delgado Assad

Pesquisador do Centro de Agronegócio | Fundação Getúlio Vargas

Celso Vainer Manzatto

Pesquisador | Embrapa Meio Ambiente

Gracie Verde Selva

Gerente Executiva do programa Renove | Minerva Foods

APOIO TÉCNICO:

William Marchió

Consultor Agropecuário

Thamara Amaral Diniz

Técnica de Campo | Minerva Foods

Giovanna Queiroz Bigal

Analista de Sustentabilidade | Minerva Foods

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO:

JFC Design

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE: UMA AGENDA CONVERGENTE	7
2.1 Tecnologias disponíveis voltadas para a sustentabilidade agropecuária	17
2.1.1 Recuperação de pastagem degradada	18
2.1.2 Florestas: plantadas e nativas	19
2.1.3 Sistemas integrados	19
2.1.4 Sistema de plantio direto (SPD)	20
2.1.5 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)	20
2.1.6 Adequação ambiental e legal em propriedades rurais	21
2.2 A sustentabilidade na produção de carne bovina	22
3 A MINERVA FOODS	23
3.1 Ferramenta GHG Protocol: uma parceria entre Embrapa, FGV e Minerva Foods	24
4 RESULTADOS DO GHG PROTOCOL - AGRÍCOLA E PECUÁRIA	27
4.1 Balanço de emissões de gases de efeito estufa	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40
ANEXO METODOLÓGICO	43



APRESENTAÇÃO

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – AR6) o aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, proveniente das atividades antrópicas, eleva a temperatura média do planeta e desencadeia diversos problemas para toda a humanidade. Diante desse cenário, fica evidente a responsabilidade de redução das emissões de setores como energia, indústria e agropecuária, bem como a participação ativa de atores governamentais e de toda a sociedade em prol desse objetivo comum. Em relação ao balanço líquido de emissões de GEE por país em 2018, apesar de figurar entre os 10 maiores emissores globais, o Brasil é responsável por 3% das emissões líquidas totais. Enquanto isso, China, Estados Unidos, Índia e União Europeia respondem, juntos, por 51,2% das emissões globais. No Brasil, segundo o Sistema De Estimativa De Emissões De Gases De Efeito Estufa – SEEG (2022), a contribuição nacional por setor nas emissões de gases de efeito estufa são, sequencialmente, a agropecuária (25%), energia (18%), mudança do uso da terra e florestas (49%), processos industriais (4%) e o tratamento de resíduos (4%). O setor agropecuario no Brasil é responsável por uma parcela considerável das emissões de GEE, principalmente de metano proveniente da fermentação entérica dos ruminantes. Em contrapartida, também é um dos setores mais afetados pelas adversidades da mudança do clima, incluindo: temperaturas extremas, alteração do regime de chu-

vas, aumento da frequência de inundações e desertificações. Essas adversidades ameaçam a produção agropecuária, o abastecimento de alimentos, além de outros problemas de cunho social e econômico. É de extrema importância a manutenção de uma agropecuária sustentável que produza alimentos para a humanidade e que conserve o meio ambiente, mitigando e adaptando-se aos impactos das mudanças climáticas. O Brasil apresenta enorme potencial de aumentar sua produção agropecuária de forma sustentável – é realidade exemplos de produtores rurais que produzem, preservam e prestam serviços ao meio ambiente. Para engajar e estimular a produção sustentável, precisamos contar a história desses produtores com dados e fatos. Pensando nisso, foi formada uma parceria entre a Embrapa, a Fundação Getúlio Vargas, a Unicamp e Minerva Foods, para o desenvolvimento de um projeto que adaptou e atualizou o GHG Protocol Agrícola, metodologia de cálculo de balanço de GEE, para calcular de forma mais factível as emissões e remoções de propriedades rurais com pecuária à pasto e/ou confinamento no Brasil. Esse relatório, idealizado pela Minerva Foods, traz os resultados de balanço de GEE de 23 fazendas fornecedoras de gado da Companhia, visando uma melhor compreensão das emissões e remoções, para melhorar os processos da produção agropecuária e vislumbrar oportunidades diferenciadas para os produtores rurais que adotam tecnologias de produção mais sustentáveis.

01 INTRODUÇÃO

De acordo com o último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – AR6), o aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera proveniente das atividades antrópicas eleva a temperatura média do planeta e desencadeia diversos problemas para toda a humanidade. O relatório descreve ainda cenários alarmantes de mudanças do clima, com impactos devastadores caso não sejam adotadas ações urgentes de mitigação e adaptação às mudanças climáticas nos diversos setores da economia global. Diante desse cenário, fica evidente a responsabilidade de redução das emissões de setores como energia, indústria e, principalmente para o caso do Brasil, agropecuária e Uso e Mudança de Uso da Terra, bem como a participação ativa de atores governamentais e de toda a sociedade em prol desse objetivo comum.

Em 2019, segundo Tubiello et al (2021), estimativas sobre as emissões oriundas de sistemas agroalimentares mundiais foram da or-

dem de 16,5 bilhões de toneladas métricas (Gt CO₂e yr⁻¹), correspondendo a 31% do total de emissões antrópicas. Dessas, 7,2 Gt CO₂e yr⁻¹ são decorrentes de processos da produção agrícola e pecuária e do uso de energia dentro da propriedade rural e 3,5 Gt CO₂e yr⁻¹ vem das emissões decorrentes da mudança de uso da terra e desmatamento.

As estimativas mostram, ainda, variações acentuadas entre os países em termos de emissões totais, bem como a composição de contribuições dentro da porteira, mudança de uso da terra e componentes de pré e pós-processamento, sendo a China o maior emissor (1,9 Gt CO₂e yr⁻¹), seguido por Índia, Brasil, Indonésia e EUA (1,2 a 1,3 Gt CO₂e yr⁻¹). O Brasil, com emissões decorrentes principalmente da agropecuária e de mudança de uso do solo, é responsável por 3% das emissões globais, enquanto China, Estados Unidos, Índia e União Europeia respondem juntos por 51,2% das emissões globais.



Segundo o Sistema De Estimativa De Emissões De Gases De Efeito Estufa – SEEG (2022), em 2021 a distribuição setorial das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil apresentou a seguinte composição:

- Mudanças de uso da terra e florestas 49%,
- Agropecuária 25%,
- Energia 18%,
- Processos industriais 4%, e
- Tratamento de resíduos 4%.

Portanto, de acordo com esse paradigma, o setor de mudanças de uso de terras e florestas e o setor da agropecuária são os principais responsáveis pelas emissões brasileiras de GEE. Na agropecuária, a principal fonte de emissões é a fermentação entérica dos ruminantes, que responde por 64,6% de tudo o que o setor emite.

Ao mesmo tempo, a agropecuária também é um dos setores mais afetados pelas adversidades da mudança do clima, incluindo: riscos de temperaturas extremas, alteração do regime de chuvas, aumento da frequência de inundações e desertificação. Essas adversidades podem ameaçar a produção e o abastecimento de alimentos, além de gerar outros problemas de cunho social e econômico.

É de extrema importância a manutenção de uma agropecuária sustentável, que produza alimentos para a humanidade e conserve o meio ambiente, mitigando os impactos das mudanças climáticas e se adaptando aos seus efeitos. O Brasil apresenta enorme potencial de aumentar sua produção agropecuária de forma sustentável – é realidade produtores rurais que produzem, preservam e prestam serviços ao meio ambiente. Para engajar e estimular a produção sustentável, precisamos contar a história desses produtores com dados.

Uma análise do comportamento de ações voluntárias de empresas para reduzir suas emissões de GEE, mesmo não havendo um cenário de obrigatoriedade legal no Brasil, indica que, de modo geral, a cadeia da pecuária bovina observa tanto os riscos como as oportunidades para a condução de ações em relação às mudanças climáticas. Entre as oportunidades, o destaque é para a participação em mercados de carbono e para a mudança na estrutura de custo das operações que signifiquem redução de emissões e aumento de produtividade. Em relação aos riscos, destaque para a imagem ou reputação corporativa e as incertezas quanto às mudanças no ambiente regulatório (Campos e Fischamann, 2014).

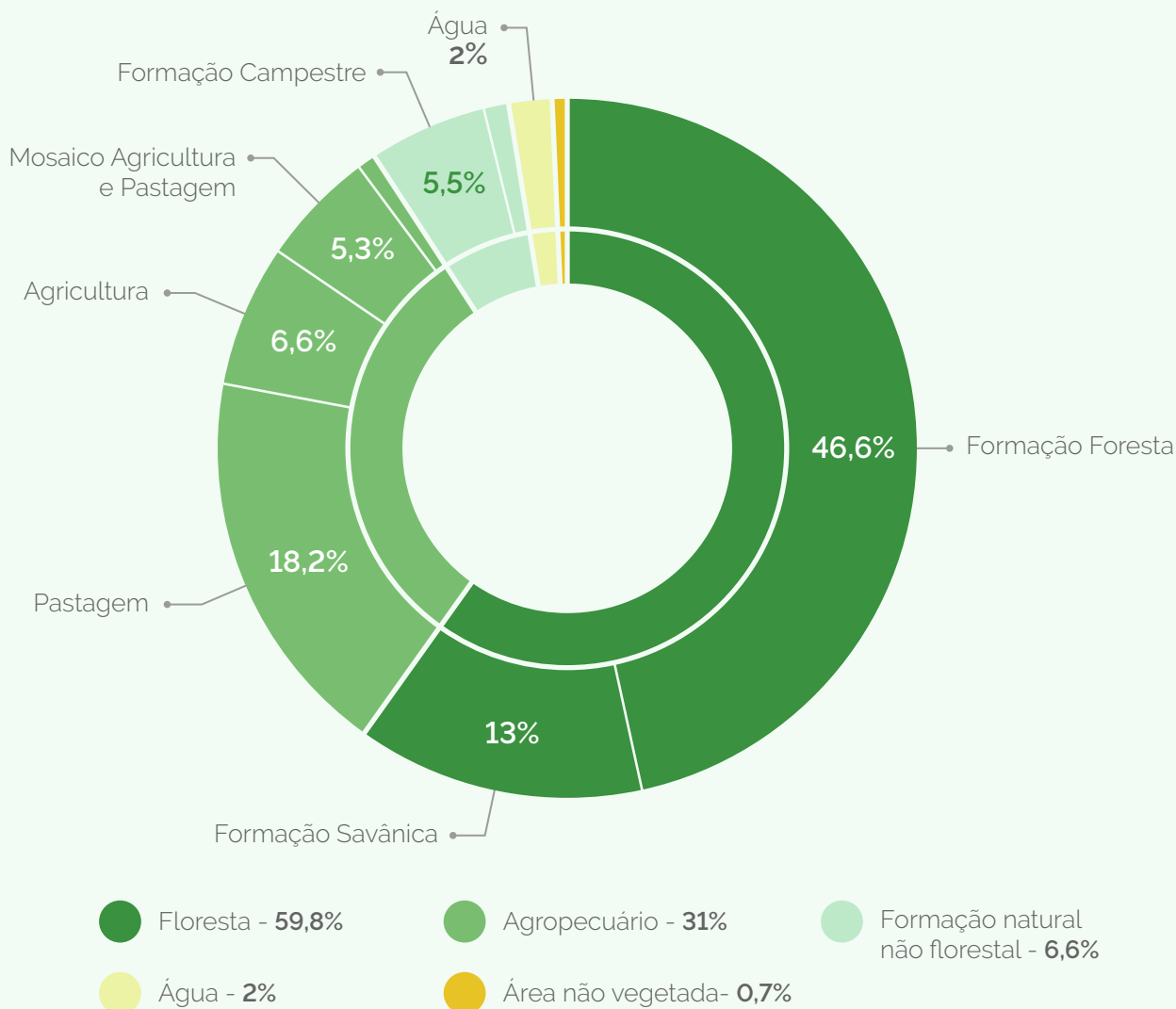
Essa foi a motivação para a formação da parceria entre a Embrapa, Fundação Getúlio Vargas, Unicamp e Minerva Foods, para o desenvolvimento de um protocolo de Medição, Relato e Verificação (MRV) que demandou a adaptação e atualização do *GHG Protocol* Agrícola, ferramenta de cálculo de balanço de carbono, que permite calcular emissões e remoções de GEE da propriedade rural, incluindo a diversidade de sistemas produtivos, como a produção agrícola, reflorestamento, pecuária de corte (incluindo confinamento) e leite, bem como as emissões de consumo de energia elétrica, insumos e resíduos. Este relatório traz os resultados de balanço de GEE de 23 fazendas fornecedoras de gado da Minerva Foods, visando uma melhor compreensão das emissões e remoções, para melhorar os processos da produção agropecuária e vislumbrar oportunidades diferenciadas para os produtores rurais que adotam tecnologias de produção mais sustentáveis.

02 AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE: UMA AGENDA CONVERGENTE

O território brasileiro é composto por 8,51 milhões de km², o equivalente a 851 milhões de hectares, dos quais 59,8% correspondem às florestas e 31,0% à agropecuária. A parcela

representada pela agropecuária brasileira corresponde a 263,1 milhões de hectares divididos em pastagem, agricultura, silvicultura e mosaico de agricultura e pastagem.

GRÁFICO 1. Cobertura e uso da terra no Brasil em 2020



Fonte: MapBiomass, 2022.

Historicamente a agricultura brasileira ficou conhecida pela sua expansão sobre a vegetação natural. Entretanto, nos anos recentes, essa expansão territorial tem sido substituída pela intensificação vertical da produção. Para Lopes (2017), o modelo da agricultura brasileira, fortemente baseado em ciência, conhecimentos e tecnologia, vem promovendo uma forte mudança na produção de alimentos nos trópicos, mas ainda com desafios a serem enfrentados, como o aumento da eficiência no uso do solo e da água e a redução contínua de impactos negativos ao meio ambiente como estratégia para manter o protagonismo no atendimento das demandas dos mercados nacionais e internacionais.

Nesse sentido, mesmo considerando as limitações naturais da fertilidade dos solos tropicais — que exige correção e reposição sistemática de nutrientes para garantir a produção vegetal sustentável —, o trabalho em conjunto do produtor rural, da pesquisa acadêmica, de parcerias entre o setor público e privado, de políticas públicas para o desenvolvimento do setor agropecuário no país, por meio de incentivos fiscais e investimentos, faz do Brasil um protagonista mundial na produção e exportação agropecuária. As receitas geradas pelas exportações são importantes para a economia do país, aumentando o Produto Interno Bruto (PIB) e mantendo o Balanço de Pagamentos positivo.

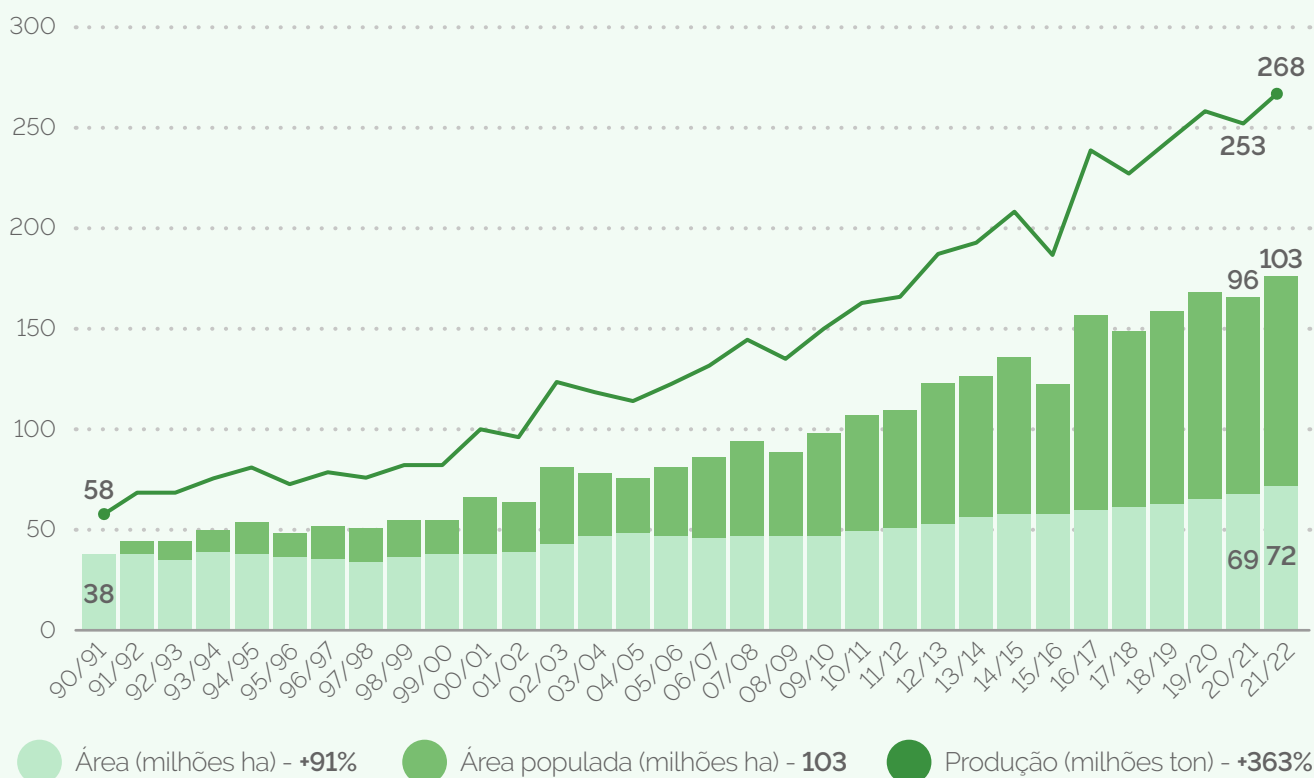
A adoção de tecnologias mais modernas e as condições climáticas permitiram que o agrone-



gócio atingisse ganhos sucessivos de produtividade ao longo dos anos. Ao compararmos a safra de 1990 /1991 à safra esperada de 2021/2022 é possível observar que, enquanto a produção de grãos cresceu 363%, saltando de 58 milhões de toneladas para 268 milhões, a área plantada cresceu em proporção muito reduzida, saindo

de 38 milhões de hectares para 72 milhões. Em outras palavras, se a área tivesse acompanhado o mesmo ritmo de crescimento da produção, seria necessário um incremento de 103 milhões de hectares. Portanto, os sucessivos ganhos de produtividade tiveram um efeito poupa terra de 103 milhões de hectares, apenas com grãos.

GRÁFICO 2 - Produção Brasileira de Grãos: Safra 1990/91 a 2021/22*



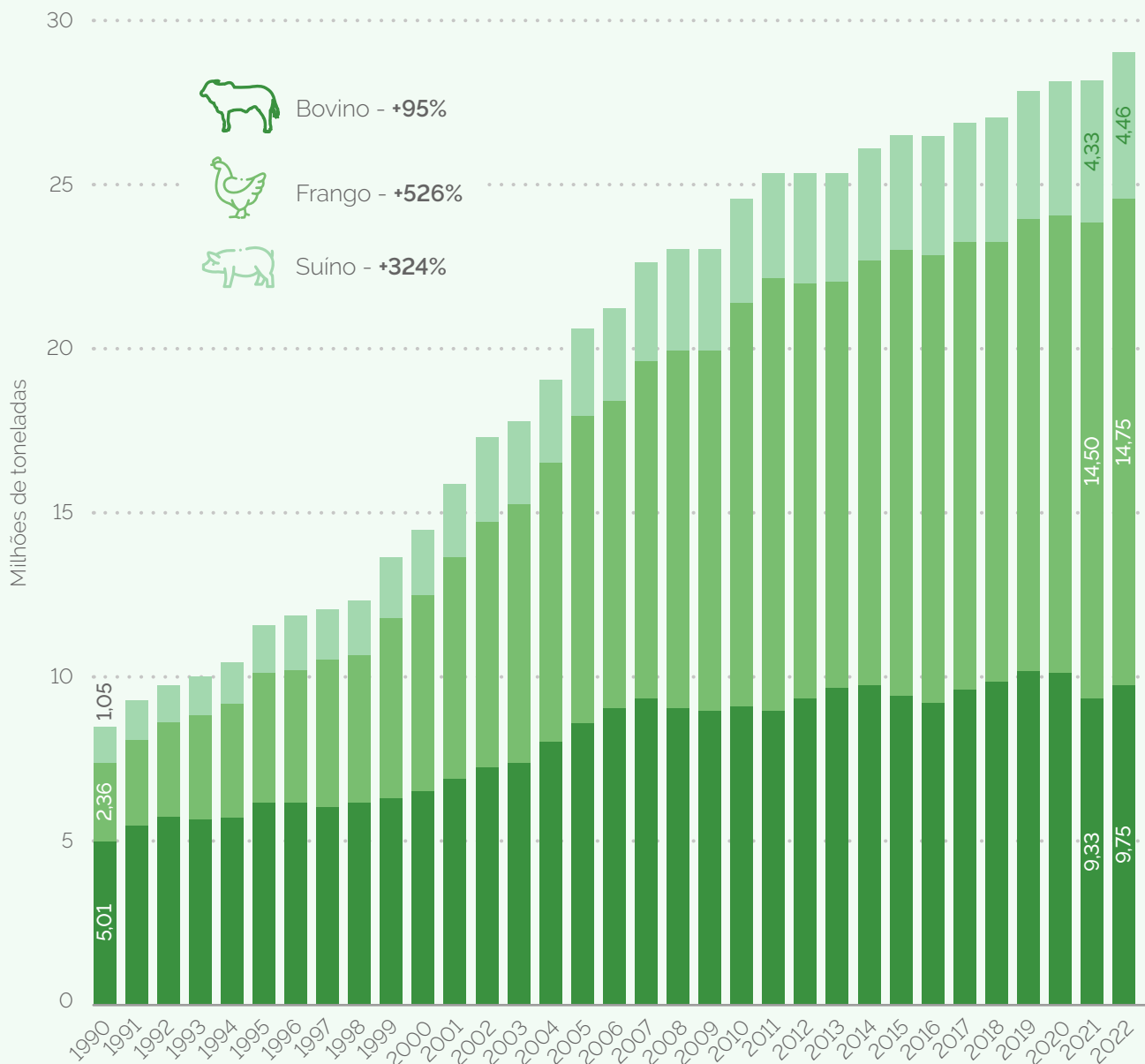
Fonte: Conab.

Nota: *4º Levantamento – Safra 21/22 – janeiro/2022.

Um cenário semelhante pode ser observado quando se trata da produção pecuária. Desde 1990, a produção de carne suína triplicou, saltando de 1,05 milhões para 4,46 milhões de toneladas. A evolução da produção de carne de frango é ainda maior, passando de 2,36 para

14,75 milhões de toneladas. Até mesmo para a produção de carne bovina, em que o ciclo do animal é mais longo, houve aumento de produção, atingindo 9,75 milhões de toneladas contra 5,01 milhões de toneladas produzidos em 1990.

GRÁFICO 3 - Produção Brasileira de Carnes



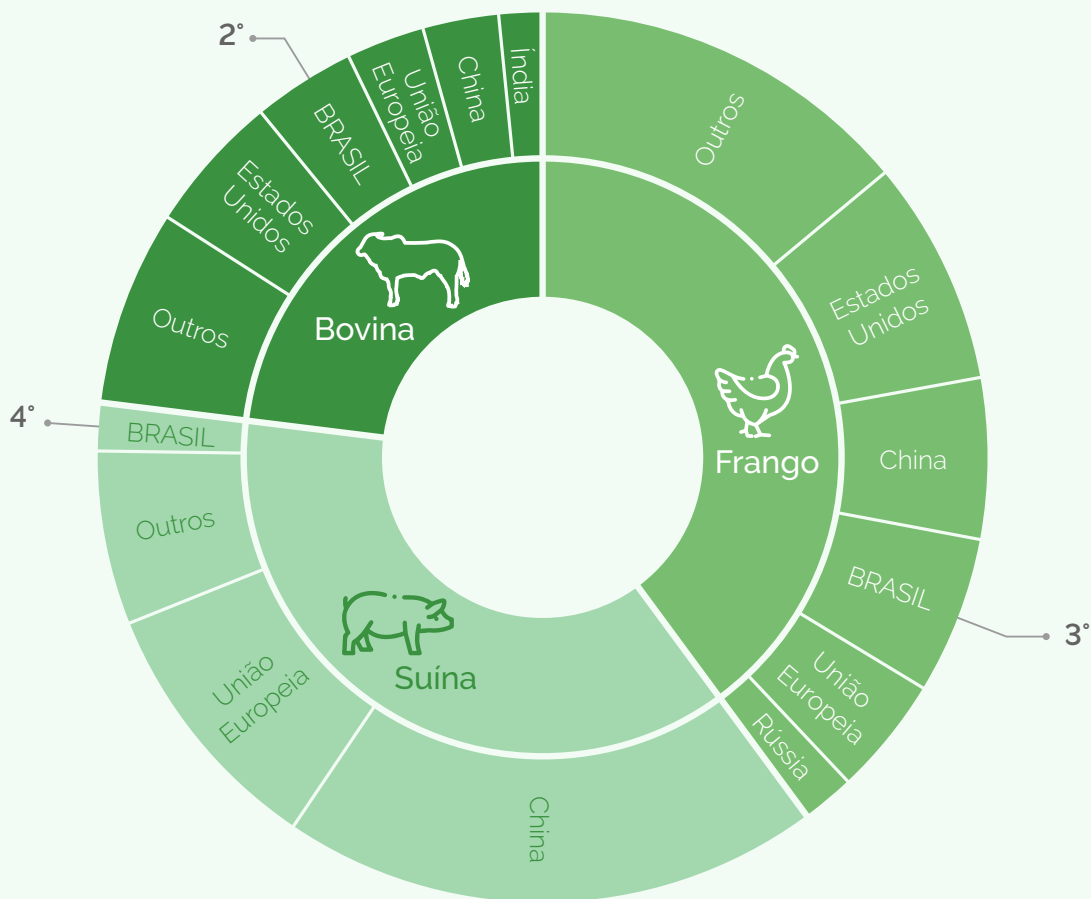
FONTE: USDA.

Nota: *Estimativas para 2022.

A evolução da produção de proteína animal transformou o Brasil em um *player* global nesse segmento. Atualmente, o país responde por 16,2% da produção mundial

de carne bovina, 14,5% de carne de frango e 4,0% do total de carne suína, ocupando o ranking dos 5 maiores produtores de todas essas proteínas.

GRÁFICO 4 - Principais Produtores Mundiais de Proteína Animal em 2021

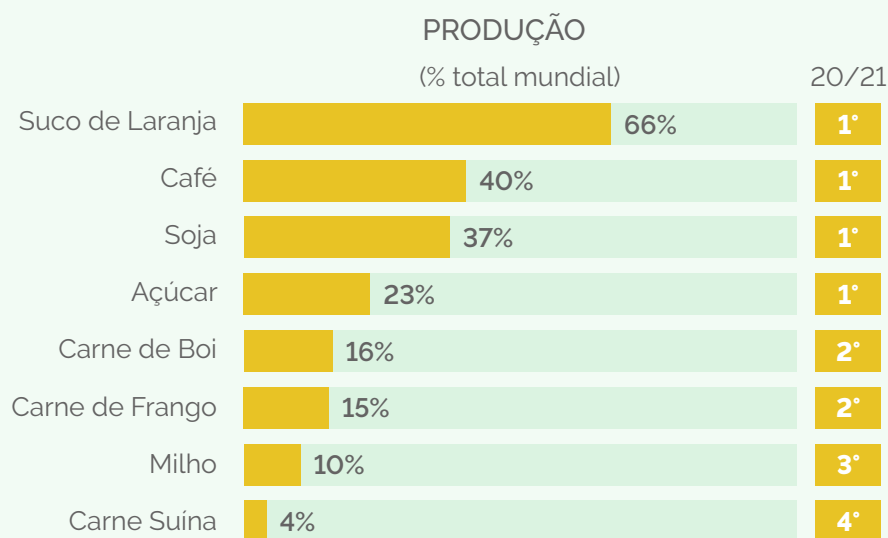


Fonte: USDA, 2022.

Os avanços tecnológicos associados à disponibilidade de terras agricultáveis, condições climáticas favoráveis e mão de obra qualificada permitiram que o Brasil ampliasse sua produção agrícola se desta-

cando frente ao mundo. Além da proteína animal, o Brasil também lidera os rankings de produção de carnes, mas também de açúcar, café, suco de laranja, milho, soja e algodão.

GRÁFICO 5 - Posição Brasileira no Ranking Mundial em 2021

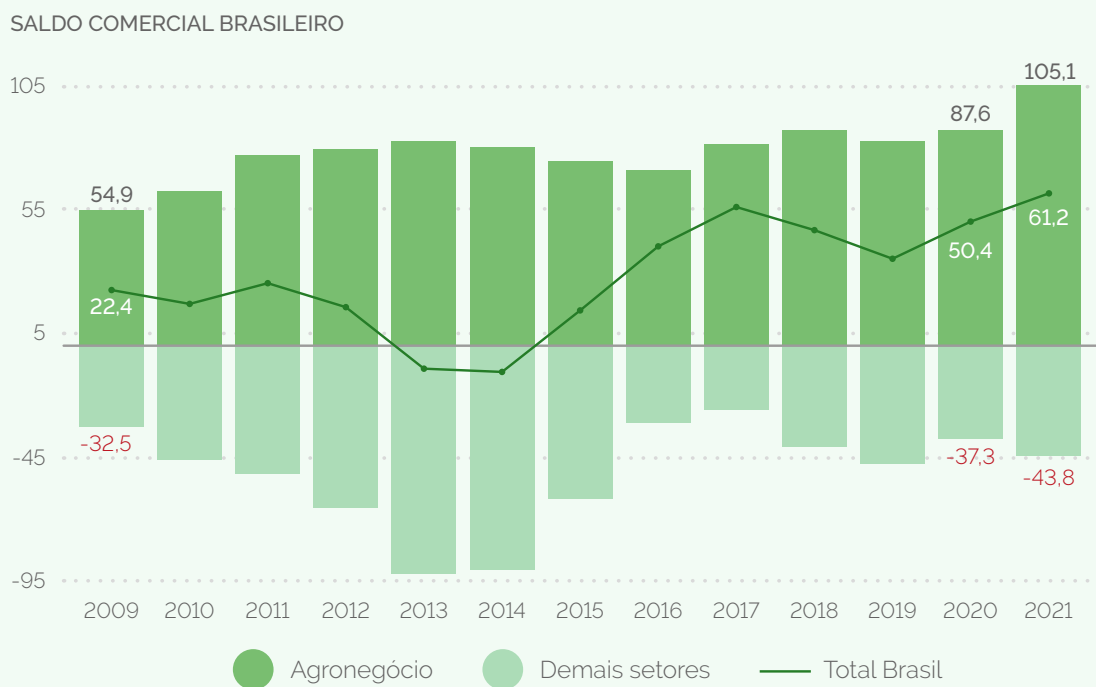
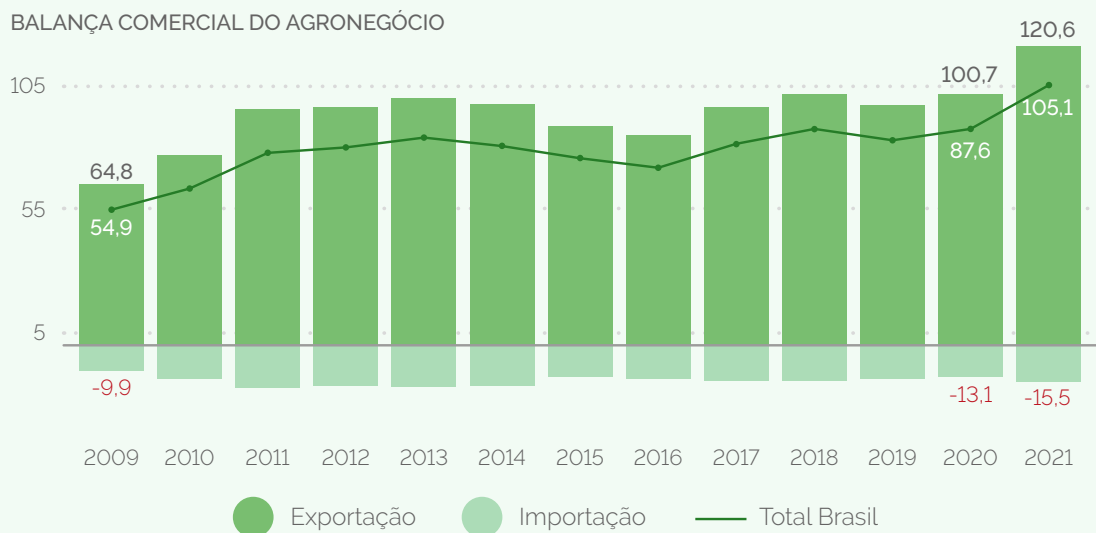


Fonte: USDA, 2022.

Devido a esse desempenho, o setor agropecuário no Brasil vem se tornando, ao longo dos últimos anos, cada vez mais relevante economicamente. Para o caso do comércio exterior, o agronegócio vem contribuindo, ano a ano, com o superávit da balança comercial. Em 2021 o saldo da balança comercial dos demais

setores da economia foi negativo, da ordem de US\$ 43,8 bilhões, enquanto o saldo do agronegócio foi positivo, da ordem de US\$ 105,1 bilhões, o resultado agregado garantiu um superávit da balança comercial de US\$ 61,2 bilhões ao Brasil. Esse mesmo padrão pode ser observado, ano a ano, desde 2015.

GRÁFICO 6 – Desempenho do Comércio Exterior Brasileiro (US\$ Bilhões)



Fontes: MAPA e MDIC, 2022.

Os números mostram a importância do agronegócio para a economia brasileira. Em 2021, além de responder por 43% das exportações¹, o setor também contribuiu com 24%

1 Fonte: MAPA, 2022.

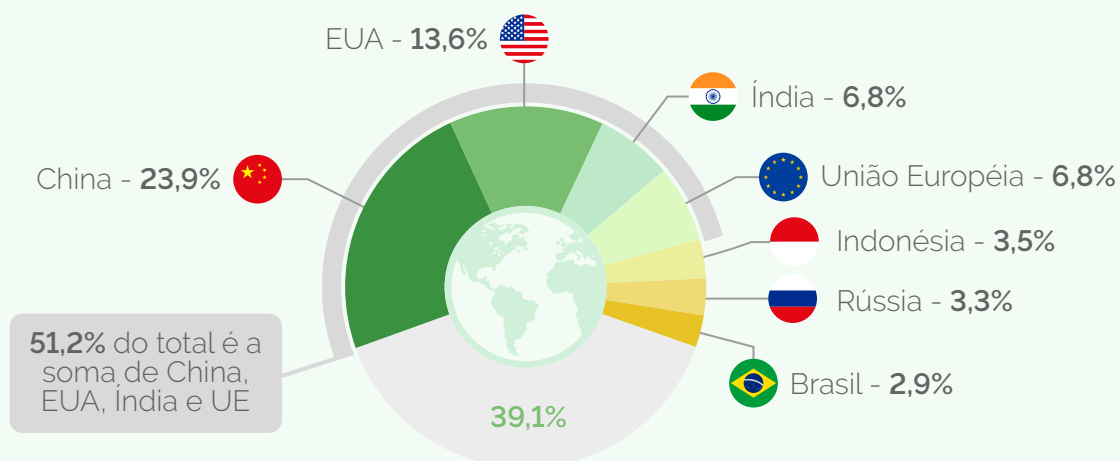
do Produto Interno Bruto² (PIB) e 20% dos empregos³ gerados no país. Além disso, no mesmo ano, o Valor Bruto da Produção (VBP) agropecuária atingiu R\$ 1,15 trilhão, valor 10,4% superior ao atingido em 2020. As lavouras foram responsáveis por 68% desse total, enquanto a pecuária respondeu pelos 32% restantes.

Um dos grandes desafios encontrados pelo setor é sua vulnerabilidade aos impactos ambientais e mudanças climáticas, principalmente porque no Brasil a agricultura se destaca de forma dual: se por um lado o setor é o responsável por 26,7% das emissões nacionais geradas⁴, principalmente, pelas emissões de metano, por outro, é um dos principais afetados pelas mudanças no clima, já que o segmento é altamente dependente dos fenômenos meteorológicos, como os regimes térmico e hídrico. A mudança

no padrão do clima pode ser destrutiva para a produção agropecuária (Assad, et al., 2019)

Atualmente, o Brasil é responsável por 3% das emissões líquidas globais de GEE. Ainda assim o país figura entre os 10 maiores emissores globais. Entretanto, quando comparado às emissões globais, há uma diferença no padrão brasileiro. Enquanto 73,2% das emissões do mundo têm como origem o setor de energia, 73,0% das emissões nacionais vem do setor agropecuário e outros Usos da Terra (AFOLU). O setor de agricultura, florestas e outros usos da terra (AFOLU) gera emissões de GEE por meio de uma variedade de atividades, incluindo mudanças no uso da terra que alteram a composição do solo, metano produzido nos processos digestivos de animais ruminantes da pecuária e manejo de nutrientes para fins agrícolas.

GRÁFICO 7 - Parcela do Balanço Líquidos de Emissões de Gases de Efeito Estufa por País em 2018 (Parcela de CO₂e)



Fonte: Emissões em 2018: *Climate Watch* (exceto EUA e Rússia); *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks* (EUA); Relatório Nacional Sobre emissões de gases de efeito estufa (Rússia). Elaboração: Observatório de Bioeconomia da FGV.

2 Fonte: CEPEA/USP e CNA, 2022.

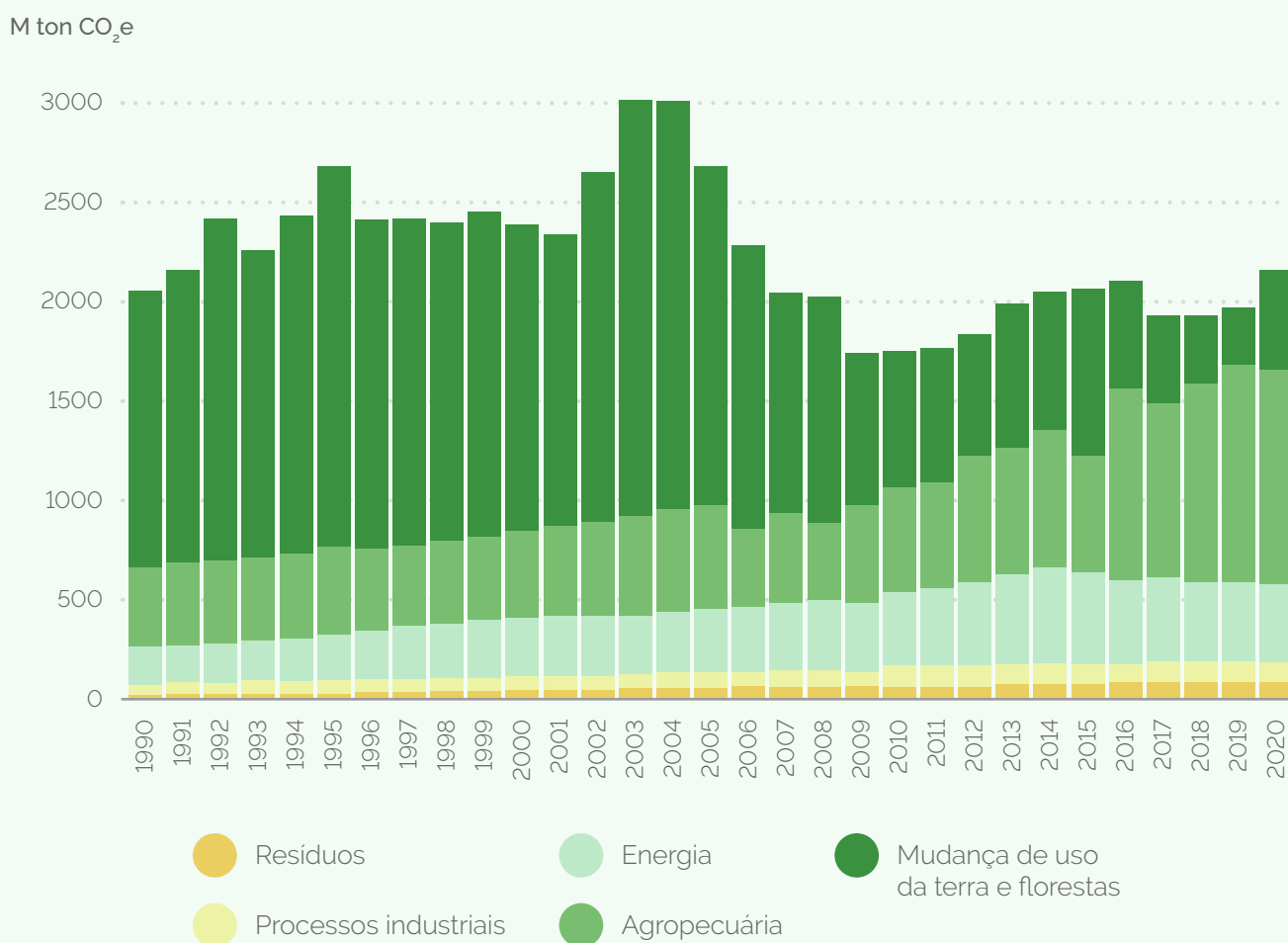
3 Fonte: IPEA, 2022.

4 Nota: Os dados apresentados fazem referência às emissões calculadas para o ano de 2020, sendo estas as mais atuais até o momento. Fonte: SEEG, 2022.

As emissões brasileiras giram em torno de 2,16 bilhões de toneladas de CO₂e⁵, dos quais 26,7% (cerca de 577,0 milhões de toneladas de CO₂e) são provenientes da agropecuária. As

emissões do setor têm sido estáveis ao longo dos anos e ocupam o segundo lugar no ranking de emissões, atrás apenas da categoria de mudança de uso da terra e florestas.

GRÁFICO 8 - Emissões Totais Brasileiras por Categoria



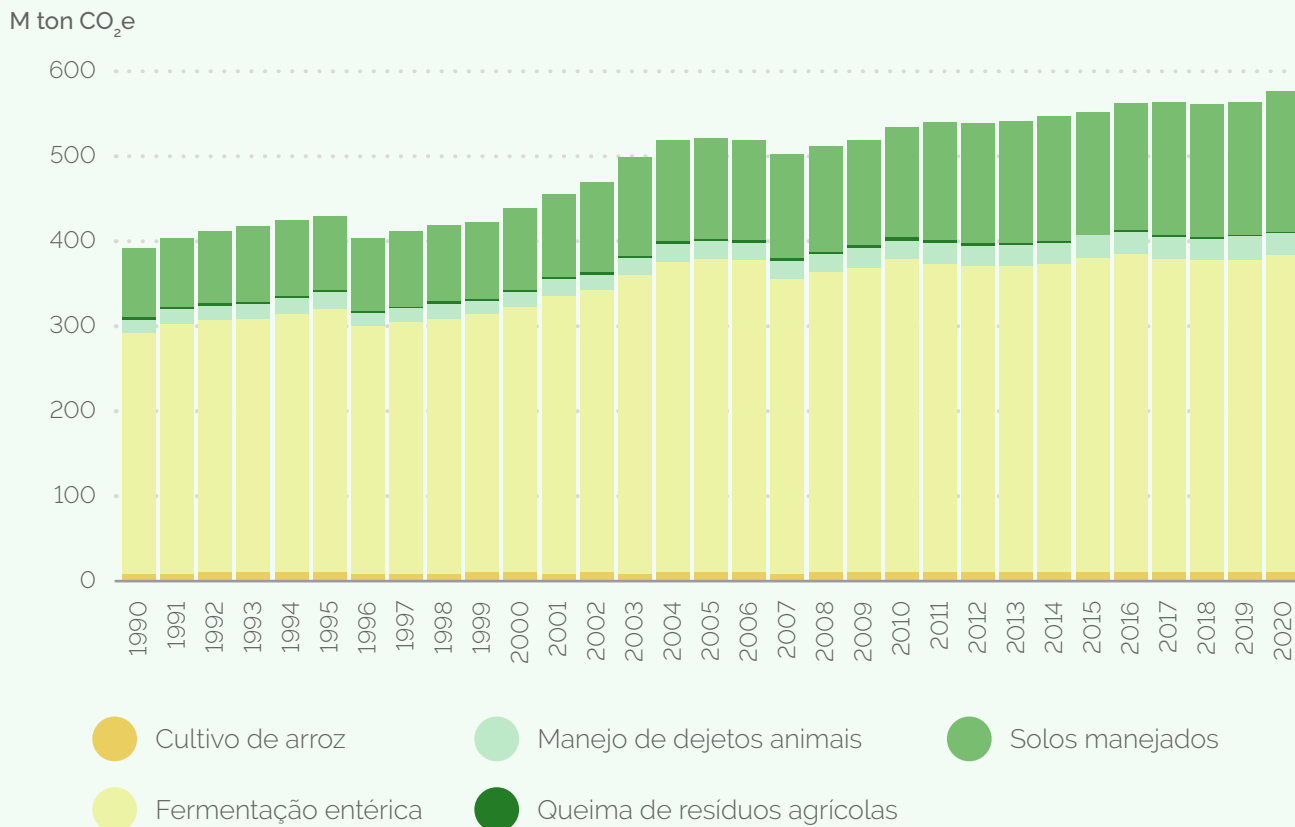
Fonte: SEEG, 2022.

As fontes de emissão da agropecuária se distribuem em cultivo de arroz, fermentação entérica, manejo de dejetos animais, queima de resíduos agrícolas e manejo dos solos. A fermentação entérica responde pela principal

parcela de emissões da categoria, que em 2020 correspondeu a 64,6% do total. O manejo dos solos, segunda maior fonte, responde por 28,8%. Juntas, essas duas categorias representam mais de 90% das emissões agropecuárias.

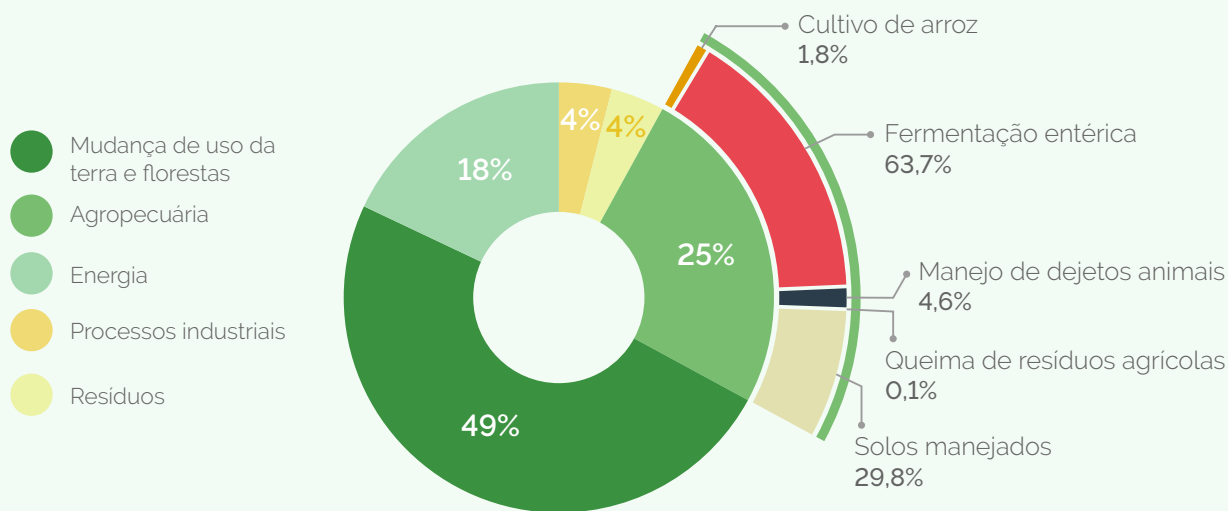
5 Nota: Os dados apresentados fazem referência às emissões calculadas para o ano de 2020, sendo estas as mais atuais até o momento. Fonte: SEEG, 2022.

GRÁFICO 9 - Emissões Totais da Agropecuária Brasileira por Categoria



Fonte: SEEG, 2022.

GRÁFICO 10 – Distribuição das Emissões Totais do Brasil e da Agropecuária Brasileira por Categoria em 2021



Fonte: SEEG, 2022.

A fermentação entérica, processo digestivo natural que ocorre em animais ruminantes – como o gado bovino, por exemplo – e o manejo de dejetos são processos associados a pecuária. O primeiro libera o gás metano, já o dejetos dos animais libera, além do metano, óxido nitroso. Esses processos respondem por cerca de 70% das emissões da pecuária.

Mesmo responsável por cerca de um quarto do total das emissões brasileiras, a agropecuária tem grande potencial para contribuir com a redução das emissões de GEE por meio de manejo adequado e adoção de boas práticas nas fazendas.

Na busca da promoção de um setor cada vez mais produtivo que ao mesmo tempo reduza suas emissões, foi desenvolvido o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC). Criado em 2010 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o programa tem como objetivo a adoção de tecnologias de produção agropecuárias sustentáveis e indica caminhos para se atingir uma agricultura de baixa emissão de carbono.

O Plano ABC aponta medidas de adaptação às mudanças climáticas como parte de um con-

junto de políticas públicas de enfrentamento das alterações do clima. A estratégia é investir em uma agricultura mais eficiente, promovendo a adoção de sistemas diversificados e o uso sustentável da biodiversidade e dos recursos hídricos, com apoio ao processo de transição, organização da produção, garantia de geração de renda e pesquisa (recursos genéticos e melhoramento, recursos hídricos, adaptação de sistemas produtivos, identificação de vulnerabilidades e modelagem), dentre outras iniciativas.

Resultados preliminares indicam que no âmbito do Plano ABC foram mitigados, em 8 anos (de 2010 a 2018), entre 100 e 154 milhões de toneladas de CO₂e⁶ (Manzatto et al., 2020). Dentre as propostas do Plano ABC está a adoção de sistemas sustentáveis de produção utilizando tecnologias consolidadas que contribuem para o aumento da produtividade e redução das emissões de GEE dos sistemas produtivos, como recuperação de pastagens degradadas, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistema Plantio Direto (SPD) e Florestas Plantadas (FP).

2.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS VOLTADAS PARA A SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

A agropecuária sustentável possui 3 objetivos primordiais:

1. Uso racional dos recursos naturais e proteção do meio ambiente.
2. Viabilidade, rentabilidade e sustentabilidade econômica.
3. Responsabilidade e justiça social.

A contribuição dos métodos adequados de produção podem desenvolver de maneira sustentável o território. Há oportunidades de melhorar o desempenho nos sistemas de pro-

dução pela redução de custos, incrementos na produtividade, maior controle e eficiência no uso de recursos disponíveis, diversificação de mercados, melhora na qualidade do solo e do ecossistema produtivo, entre outros.

Os efeitos das mudanças climáticas somados à diversidade de biomas, às condições socioeconômicas dos agricultores, e ao ganho de produtividade para o aumento da produção e redução dos custos ressaltam a importância da expansão da adoção dos sistemas de produção sustentá-

⁶ Fonte: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>

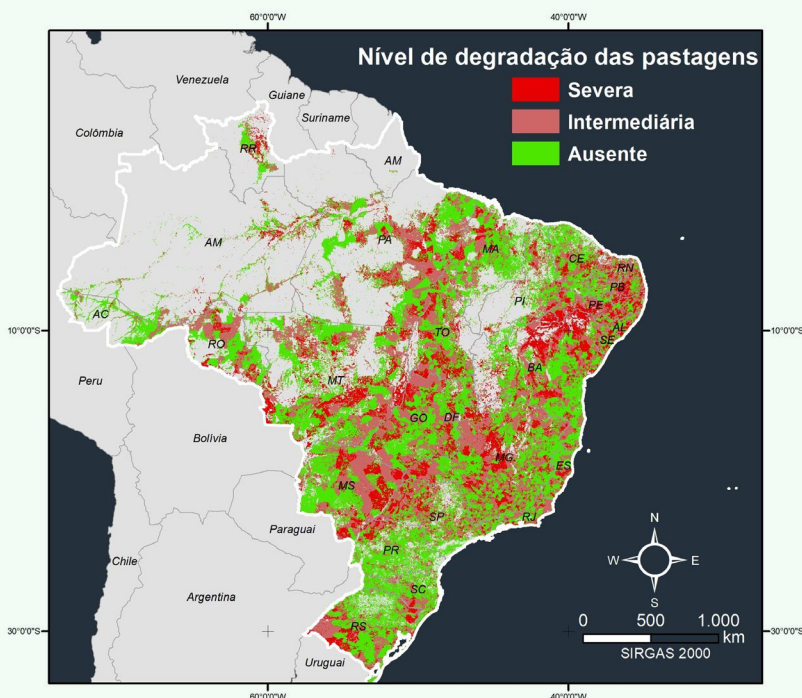
vel pelos produtores rurais como resposta às demandas dos mercados interno e externo, especialmente na pecuária (Manzatto e Skorupa, 2019).

Desde a década de 60, o Brasil experimenta de um intenso processo de modernização agrícola pelo avanço nas ciência, tecnologia e inovação, assertividade em políticas públicas e esforços de empreendedores rurais. Ações como a recuperação de pastagem degradada; o reflorestamento e as florestas plantadas; os sistemas integrados de produção, como a ILPF; o sistema plantio direto; a fixação biológica de nitrogênio e o tratamento de resíduos são práticas que vem sendo utilizadas e estimuladas como programa de Estado. O emprego dessas soluções são essenciais para a sustentabilidade e continuidade do agronegócio brasileiro, que além de aumentarem a produtividade, reduzem as emissões de GEE e reduzem a necessidade de abertura de novas áreas para a produção, o chamado "efeito poupa terra".

2.1.1 Recuperação de Pastagem Degradada

A maior parte da área agricultável brasileira, com cerca de 160,9 milhões de hectares, é ocupada com pastagens, e um dos principais desafios enfrentados pela ocupação territorial do agronegócio brasileiro é a degradação dessas áreas. Segundo LAPIG (2021), enquanto cerca de 45,9% da área total de pastagens (73,9 Mha) não apresenta sinais de degradação, 39,4% (63,4 Mha) apresenta um nível intermediário de degradação, e os 16,0% restantes (25,7 Mha) apresentam degradação severa. Pastagens degradadas são sistemas caracterizados por baixos níveis de tecnologia e manejo inadequado, como a falta de adubação de manutenção e sobrecarga de lotação animal. A precariedade desse manejo leva uma degradação generalizada e rendimento deficiente, o que resulta em baixo desempenho produtivo (Strassburg et al., 2014).

FIGURA 1. Mapa da Qualidade da Pastagem Brasileira por Nível de Degradação



Fonte: LapiG, 2022.

A possibilidade de permanência e de manutenção sustentável em um sistema em que as pastagens se encontram em algum nível de degradação é baixa. A recuperação das pastagens é uma prática viável, tanto tecnicamente quanto economicamente. Segundo Oliveira et al (2005) se em cada hectare de pastagem degradada fossem adotadas práticas de recuperação, seria possível dobrar a média de lotação animal do Brasil de algo ao redor de 1 para aproximadamente 2 UA/ha (UA = unidade animal, 450 kg de peso vivo), o que tornaria possível dobrar o rebanho nacional, sem a necessidade da derrubada de uma única árvore.

Esse cenário possibilita uma grande oportunidade de redução do impacto causado pela pecuária de corte, principalmente por meio das técnicas de recuperação de pastagens degradadas e sistemas integrados de produção. Essas técnicas combinam aumento de produtividade com o potencial mitigador de GEE, podendo, ainda, contribuir para a redução do desmatamento visando a expansão da pecuária.

2.1.2 Florestas: Plantadas e nativas

A exploração de floresta plantada (econômica) nas propriedades rurais possui quatro objetivos básicos:

- Implementar uma fonte de renda de longo prazo;
- Aumentar a oferta de madeira para fins industriais (celulose e papel, móveis e painéis de madeira), energéticos (carvão vegetal e lenha), construção civil e outros usos;
- Reduzir a pressão sobre as matas nativas para suprir a demanda por madeira; e

- Remoções de CO₂ da atmosfera para ajudar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Além dos benefícios das florestas relacionados às mudanças climáticas, as florestas nativas também trazem benefícios para o regime hídrico permanente, no qual os componentes da vegetação retêm a água da chuva. Portanto, preservar florestas é fundamental para:

- A manutenção de nascentes;
- Regular o fluxo dos mananciais de água que abastecem as cidades e comunidades;
- Regular o clima;
- Regular a temperatura e qualidade do solo;
- Proteger escarpas e encostas de morro.

Um dos objetivos do Plano ABC estabelecido é a promoção de esforços para reduzir o desmatamento de florestas decorrente dos avanços da agropecuária.

2.1.3 Sistemas Integrados

Os sistemas integrados, também conhecidos como Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é uma das mais importantes práticas para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas. A ILPF associa os sistemas produtivos agrícola, pecuário e florestal, podendo ser feita em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação, beneficiando mutuamente seus componentes (BALBINO, 2011; OLIVEIRA, 2018). Dessa forma, a tecnologia também busca aumentar a produtividade agropecuária, justamente por causa dessa integração. Além disso, a ILPF tem o potencial de reduzir as emissões de GEE por meio da recuperação de áreas degradadas e, conseqüentemente, diminuir a pressão para abertura de novas áreas (CORDEIRO, 2015; FIGUEIREDO, 2017).

Diferentemente da agricultura convencional, o manejo realizado no sistema ILPF promove melhorias na qualidade do solo a longo prazo devido à diversificação de culturas, cobertura vegetal permanente e a redução do revolvimento do solo (MORAES, 2014; SALTON 2014). Esse manejo é capaz de promover o aumento do carbono orgânico do solo, podendo compensar as emissões de N_2O e CH_4 (CONCEIÇÃO, 2017).

2.1.4 Sistema de Plantio Direto (SPD)

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema conservacionista com técnicas apropriadas para o aumento da produtividade, de modo que a manutenção da cobertura morta protege o solo contra o efeito erosivo de chuvas e ventos e, conseqüentemente, evita a poluição e degradação dos rios e mananciais devido ao carregamento de adubos e produtos químicos (HERNANI & SALTON, 1998). As principais características desse sistema são:

- Não revolvimento do solo,
- Rotação de culturas e
- Cobertura permanente do solo por culturas ou resíduos culturais.

O SPD tem a função de integrar o conjunto de técnicas interdependentes que sustentam a melhoria do meio ambiente, a qualidade de vida do homem, além de preocupações socioeconômicas e a sustentabilidade da atividade agropecuária (HERNANI & SALTON, 1998).

O Brasil é hoje um dos países com a maior área de plantio direto do mundo: 337 milhões de hectares. Estudos mostram que os ganhos em produtividade chegam a 30% se comparado ao sistema convencional, e 50% em época de estiagens.

2.1.5 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) consiste em explorar culturas leguminosas como adubo verde ou em consorciação com outras culturas. Dessa forma, trata-se de um processo biológico no qual microrganismos convertem o nitrogênio presente na atmosfera (que não pode ser utilizado pelas plantas) em amônia no solo, disponível para ser absorvido pela cultura econômica.

A FBN é a principal via de incorporação do nitrogênio na biosfera e, depois da fotossíntese, é o processo biológico mais importante para as plantas e fundamental para a vida na Terra.

Alguns estudos vêm demonstrando que a FBN é um importante mecanismo para incrementar o balanço positivo de Nitrogênio (N) nos sistemas agropecuários. Isso porque o consumo inadequado ou exagerado de fertilizantes nitrogenados na agricultura é preocupante, tanto economicamente, como ambientalmente. Os fertilizantes nitrogenados, além de serem fonte de emissão de N_2O , apresentam um custo elevado, pois está atrelado ao custo de petróleo, no qual seus derivados são utilizados para a fabricação desses fertilizantes. No Brasil, cerca de 70% do total do fertilizante nitrogenado usado é importado.

Portanto, a FBN apresenta-se como uma alternativa ao uso de fertilizantes nitrogenados para algumas culturas, ajudando a reduzir, total ou parcialmente, os níveis de fertilizantes aplicados em cultivos de leguminosas, gramíneas e outras espécies.

Os benefícios da FBN são:

- Redução do uso de fertilizantes nitrogenados, portanto reduzindo os custos de importação e a dependência nacional de fertilizantes;

7 Fonte: Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto, 2022.

- Aumento de produtividade;
- Redução dos impactos ambientais.

2.1.6 Adequação ambiental e legal em propriedades rurais

As áreas de Reserva Legal (RL) e as Áreas de Preservação Permanente (APP) proporcionam serviços ambientais necessários para sustentabilidade.

A Reserva Legal é uma área de cobertura vegetal nativa localizada na propriedade rural que deve ser mantida e conservada de acordo com as exigências legais. O Código Florestal (Lei 12.651 de 2012) define a área destinada à RL em cada propriedade em função da localização territorial:

- 80% no imóvel rural situado em área de Floresta localizada na Amazônia Legal;
- 35% no imóvel rural situado em área de cerrado localizada na Amazônia Legal;
- 20% no imóvel rural situado em áreas de Campos Gerais localizada em qualquer região do país;
- 20% no imóvel rural situado em áreas de Floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do país.

A conservação de RL é de suma importância para a proteção da fauna e flora nativas, para a manutenção da biodiversidade e para viabilizar o uso sustentável dos recursos naturais. Portanto, nas áreas destinadas à RL pode haver exploração econômica sustentável de recursos naturais.

Já as APPs são áreas com metragens definidas em legislação, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem e a biodiversidade.

As APPs devem ser estabelecidas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto e em faixa marginal cuja largura mínima em cada margem depende da largura do corpo d'água. No Código Florestal (Lei 12.651 de 2012) ainda são previstas APPs em nascentes, lagos e lagoas naturais, veredas, topos de morros, motes, montanhas, serras, encostas, bordas de tabuleiros ou chapadas, restinga, altitude superior a 1800 m, entre outras localidades.

Todo imóvel rural que tenha APP e que em algum momento tiveram a vegetação nativa retirada para atividades agropecuárias ou atividades econômicas devem, por imposição Legal, promover a recuperação dessas áreas.



2.2 A SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE CARNE BOVINA

A sustentabilidade da produção agropecuária depende diretamente da conservação do solo, dos recursos hídricos, das florestas e demais formas de vegetação nativa existente nas propriedades rurais. Ao não seguir a legislação de proteção ao meio ambiente e de regulamentação das atividades agropecuárias, o produtor corre o risco de ser multado, perder financiamentos, oportunidades de negócios e, acima de tudo, ser obrigado a arcar com o prejuízo causado pela perda de biodiversidade e pela modificação do regime climático.

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (MAPA, 2010) orienta os produtores rurais quanto ao manejo agropecuário sustentável que promova melhorias ambientais, econômicas e sociais.

Muitas orientações são dadas levando-se em consideração o sistema agropecuário a ser empregado, o manejo do solo e de insumos, a conservação de vegetação nativa, o manejo de animais, a gestão dos resíduos, a redução das emissões de GEE, dentre outras. Sugestões importantes para a atividade pecuária também estão presentes no Plano Setorial, como por exemplo a correta destinação dos dejetos e efluentes originados a partir da criação de animais estabulados, importante fator que condiciona a regularidade ambiental das propriedades rurais. O tratamento adequado desses efluentes e dejetos contribui para a redução da emissão de metano, além de

possibilitar um aumento na renda dos produtores, seja pelo composto orgânico produzido ou pela geração de energia por meio do uso do biogás.

São muitas as preocupações relacionadas ao manejo diário do rebanho numa propriedade. Além da gestão do rebanho "dentro da porteira", o pecuarista encontra preocupações "fora da porteira" que influenciam nas suas tomadas de decisões. Essas preocupações são pujantes devido às exigências do mercado consumidor de carne bovina, como as questões fitossanitárias, de bem-estar animal e de rastreabilidade do gado.

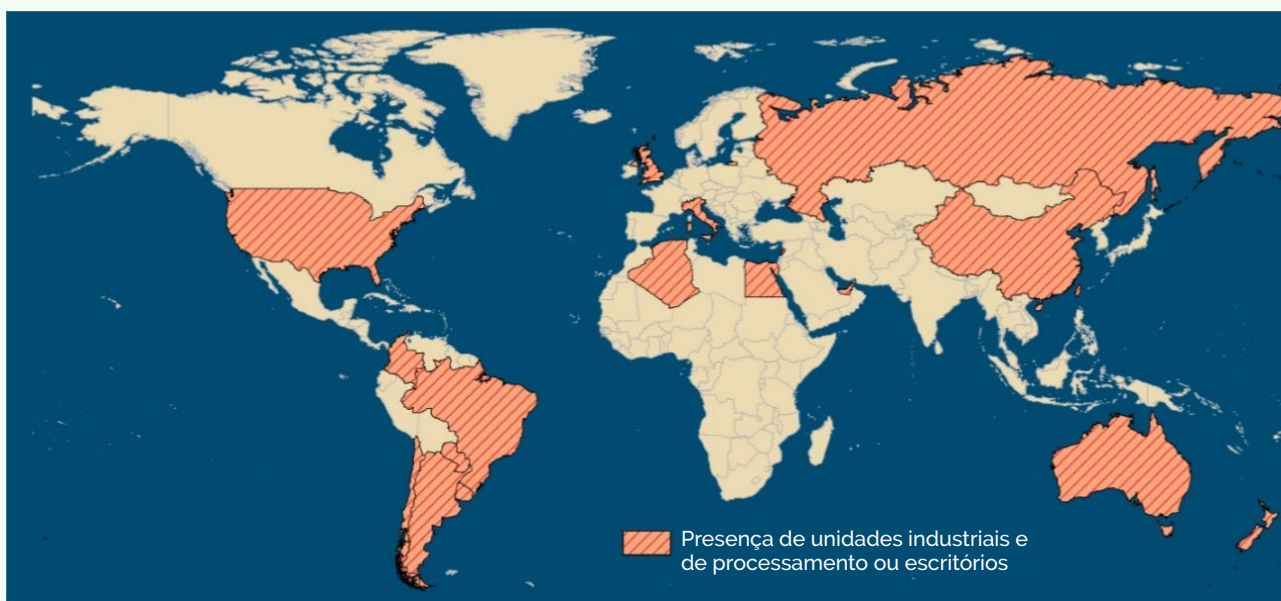
A jornada da produção de carne sustentável deve ser acompanhada de amadurecimento das relações com o entorno, algo cada vez mais demandado pelos mercados, sobretudo no que se relaciona às questões climáticas, à rastreabilidade de produtos e ao combate ao desmatamento. Os produtos destinados ao mercado devem estar pautados por uma visão de sustentabilidade que alia a dedicação ao planeta, o compromisso com a prosperidade da sociedade, a qualidade dos produtos e o respeito com a vida. Esse é o objetivo da Minerva Foods, empresa que vem se destacando pelo enfrentamento dos desafios do setor e também pelas conquistas, alcançadas devido às suas ações estratégicas para o combate às mudanças climáticas e proteção dos ecossistemas, com ênfase na eficiência ambiental das suas operações e combate ao desmatamento ilegal em toda a cadeia de abastecimento.

03 A MINERVA FOODS

A Minerva Foods é líder em exportação de carne bovina na América do Sul e atua também no segmento de processados, comercializando seus produtos para mais de 100 países. Além do Brasil, a Minerva Foods está presente no Paraguai, na Argentina, no Uruguai, na Colômbia,

e possui plantas especializadas em ovinos na Austrália, somando mais de 20 mil colaboradores. A empresa atende a cinco continentes com carne bovina, ovina e seus derivados e opera, hoje, 32 unidades industriais, 11 escritórios internacionais e 14 centros de distribuição..

FIGURA 2. Mapa da presença de unidades industriais e de processamento ou escritórios da Minerva Foods



A Minerva Foods apresenta uma extensa base de fornecedores de gado e uma rede de escritórios e operações que conecta mercados em expansão, como a Ásia, aos polos de produção de carne bovina na América do Sul. Ao final de 2020, a companhia registrou receita líquida de R\$ 19,4 bilhões, dentre os quais 68% são provenientes das exportações. Em 2021, registrou receita líquida de R\$ 26,9 bilhões, expansão de 39%.

A Minerva Foods também formalizou suas práticas na Política de Bem-Estar Animal, que estabelece as diretrizes para um rigoroso controle de tolerância zero a atos de abuso, negligência ou maus-tratos aos animais, visando sempre implementar as melhores práticas de manejo, treinamento dos envolvidos e verificações constantes de todas as etapas de produção.

Com os investimentos em tecnologias de rastreamento, controle de áreas desmatadas e monitoramento de reservas ambientais e indígenas, a empresa tem em seu guarda-chuva cerca de 9.000 fornecedores na região amazônica em um raio que abrange mais de 9 milhões de hectares. Entre diversas outras iniciativas, a Minerva Foods é também a primeira Companhia do setor a avançar com ações materiais para avaliação da cadeia de fazendas fornecedoras indiretas na Amazônia. Em 2020, a companhia excedeu os limites da Amazônia e levou o monitoramento geográfico de fornecedores ao Cerrado, bioma que sofre com índices alarmantes de desmatamento e que já perdeu 50% de sua área original. A preocupação com a preservação do Cerrado também é reflexo direto da pressão de investidores e multinacionais por cadeias de menor impacto e comprometimento ambiental.

De acordo com seu último relatório de sustentabilidade (2021), a empresa se compromete com o desmatamento ilegal zero em toda a cadeia de abastecimento da América do Sul até 2030, por meio de ações como o monitoramento geográfico das fazendas fornecedoras na América Latina, bem como o desenvolvimento e implementação de um programa para

monitoramento de fazendas fornecedoras indiretas para todos os países de operação na América do Sul. Com esse monitoramento é possível identificar se a propriedade rural está envolvida em casos de desmatamento, queimadas, ocupação de áreas protegidas por lei, além de um *compliance* que analisa as questões socioeconômicas envolvidas.

Diante do cenário global de mudanças climáticas, a empresa integrou o valor da sustentabilidade como um de seus pilares para continuar crescendo e se posicionando no mercado. A Minerva Foods tem o compromisso de se tornar carbono neutro nos escopos 1, 2 e 3 até 2035 e, pensando nisso, o Programa Renove foi criado em 2021 para apoiar a redução de emissões na cadeia de suprimentos.

Recentemente, a Minerva Foods ainda anunciou sua nova estratégia de Sustentabilidade, com o compromisso de ser Carbono Neutro, alcançando emissões líquidas zero, até 2035 – 15 anos antes do previsto no Acordo de Paris. A Companhia investirá em projetos que ajudam a reduzir as emissões em toda a cadeia produtiva até a data anunciada. O primeiro compromisso é garantir o fim do desmatamento ilegal em toda a cadeia de abastecimento na América do Sul.

3.1 FERRAMENTA GHG PROTOCOL AGRÍCOLA E PECUÁRIA: UMA PARCERIA ENTRE EMBRAPA, FGV E MINERVA FOODS

A *World Resources Institute* (WRI), instituição de pesquisa, em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* – consórcio de empresas de representação e presença mundial – desenvolveram a metodologia *GHG Protocol*, que fornece as diretrizes necessárias para cálculo e endereçamento das emissões e remoções de GEE provenientes de atividades

econômicas em diversos setores, possibilitando o desenvolvimento de metas de redução das emissões e mudança do paradigma produtivo para esse fim.

Em 2012, a WRI Brasil, em parceria com Embrapa e Unicamp, desenvolveu um projeto para criar e adaptar as diretrizes de cálculo das emissões agrícolas para a realidade tropical e,

com isso, mensurar e gerir as emissões agrícolas de forma mais assertiva com a realidade do Brasil. O Projeto ficou conhecido como **GHG Protocol Agrícola**.

No período compreendido entre 2012 e 2013, o projeto gerou dois recursos técnicos: as Diretrizes Agrícolas Brasileiras e a Ferramenta de Cálculo do *GHG Protocol Agrícola*.

Combinados, esses recursos possibilitam:

- Identificar oportunidades de redução destas emissões de GEE na agropecuária;
- Rastrear progresso em direção de metas de redução;
- Comunicar os resultados aos investidores e aos consumidores finais; e
- Responder às demandas nacionais e internacionais por produtos menos intensivos em carbono.

Com o intuito de atualizar a última versão do *GHG Protocol Agrícola* com fatores de emissões mais recentes publicados na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*UNFCCC*, em inglês), a Minerva Foods firmou uma parceria com a Embrapa e a Fundação Getúlio Vargas.

Dessa forma, as emissões de GEE do rebanho bovino em pastos e confinamentos puderam ser contabilizadas de forma mais factível com a realidade dos fornecedores da Minerva Foods no Brasil. Vale ressaltar que para essa versão atualizada, não houve nenhum tipo de alteração de conteúdo (entradas e saídas do cálculo), mas sim uma atualização dos fatores de emissões.

Dessa forma, as fontes de emissões consideradas pelo *GHG Protocol Agrícola* e Pecuário são:

- Adubação orgânica;
- Aplicação de calcário;

- Aplicação de fertilizante nitrogenado sintético;
- Aplicação de ureia;
- Consumo de energia elétrica;
- Cultivo de arroz;
- Fermentação entérica;
- Emissões de fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial);
- Manejo de dejetos;
- Uso e Mudança de uso do solo;
- Operações mecanizadas;
- Queima de resíduos vegetais;
- Decomposição de resíduos das culturas.

Segundo as diretrizes do *GHG Protocol*, o reporte das emissões de GEE são classificados de acordo com o grau de responsabilidade ou controle da organização inventariante perante a fonte das emissões – fontes diretas (fontes que pertencem ou são controladas pela organização inventariante) e fontes indiretas (fontes que pertencem ou são controladas por outra organização, mas são resultantes das atividades da organização inventariante). Essa estrutura é representada pelos Escopos 1, 2 e 3, de acordo com a definição a seguir:

Escopo 1: São emissões diretas advindas de fontes da organização inventariante ou controladas por ela.

Escopo 2: Emissões indiretas provenientes do consumo de energia elétrica e térmica que é consumida pela organização inventariante. Nessa categoria são incluídas as emissões de GEE relativas ao consumo de energia elétrica comprada pela organização.

Escopo 3: Todas as outras emissões indiretas, não relatadas no Escopo 2. As emissões do Escopo 3 são uma consequência das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que

não pertencem ou não são controladas pela organização inventariante, geralmente relacionadas à cadeia de valor desta.

Além das emissões reportadas dentro dos Escopos, também são reportadas emissões biogênicas, sequestros de carbono, emissões líquidas e outros gases.

Emissões biogênicas: Emissões de CO₂ que provém da queima de biomassa (material biológico feito de carbono, hidrogênio e oxigênio). Queimar biomassa resulta em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois o CO₂ é gerado por meio de um ciclo biológico curto (e não um ciclo geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil). A queima de biomassa de vegetação nativa advinda de mudanças no uso da terra (ou seja, de desmatamento) não é considerada neutra em termos de impacto climático e deve ser reportada dentro dos escopos 1 ou 3.

Remoções biogênicas: A fixação biológica do carbono ocorre por meio da fotossíntese e, quando realizada, reduz temporariamente a

concentração de CO₂ na atmosfera. Dessa forma, o incremento de carbono em tecido vegetal deve ser contabilizado como remoção biogênica de CO₂. Exemplos: vegetação plantada (silvicultura com objetivo comercial), aumento do estoque de carbono no solo, adubação verde, mudanças no uso do solo que aumentem o estoque de carbono, entre outros.

Mudança de uso e ocupação do solo: Transição de uso do solo até a estabilização. Por exemplo, área degradada para pastagem, agricultura ou cana-de-açúcar. É considerado o carbono presente no solo e na biomassa (exceto vegetação nativa e outros usos).

As emissões líquidas correspondem à diferença entre as emissões totais e o sequestro de carbono (equação 1). Para o caso de emissões líquidas positivas, a interpretação é de que a propriedade emite GEE, para o caso de um resultado negativo, a propriedade mitiga GEE. Neste relatório foram analisadas 23 propriedades de fornecedores de carne bovina para a empresa Minerva Foods.

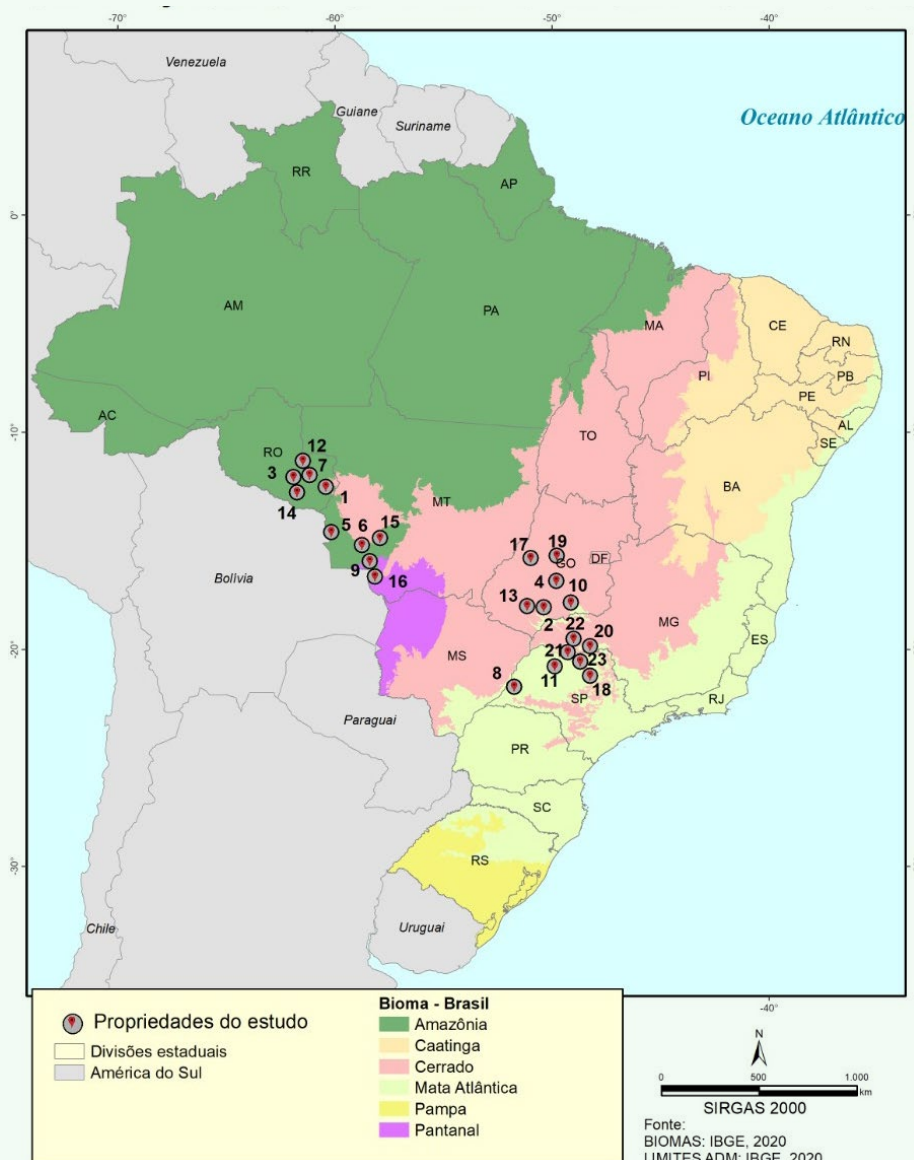
$$\begin{aligned}
 & \textit{Emissões de Escopo 1} \\
 & \quad + \\
 & \textit{Emissões de Escopo 2} \\
 & \quad \pm \\
 & \textit{Emissão ou remoção biogênicas} \\
 & \quad \pm \\
 & \textit{Mudança de uso do solo} \\
 & \quad = \\
 & \textit{Emissões líquidas}
 \end{aligned}$$

04 RESULTADOS DO GHG PROTOCOL - AGRÍCOLA E PECUÁRIA

Para participar do estudo foram escolhidas propriedades fornecedoras de gado para o frigorífico Minerva Foods, priorizando a diversidade geográfica das operações de compra de

gado e também as diferentes estratégias de terminação dos animais. Desse modo, foram elencados 23 fornecedores parceiros distribuídos em 3 das 5 grandes regiões do Brasil.

FIGURA 3. Distribuição geográfica municipal das propriedades participantes do estudo



Os 23 fornecedores estão distribuídos em 5 estados: Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais e Rondônia. Compreendem 3 diferentes regiões (Centro Oeste, Sudeste e Norte), que possuem pelo menos uma unidade de abate da Minerva Foods, localizadas estrategicamente para atendimento à demanda de mercado, respeitando critérios de bem-estar animal. Ressalta-se que as propriedades estudadas são fazendas de compra direta de bovino de corte pela Minerva Foods, sendo assim, não foram levantados processos de emissões de GEE em fornecedores indiretos.

Esses 5 estados respondem por 39,5%, cerca de R\$ 445,8 bilhões, do total (R\$ 1.129,2 bilhões) do Valor Bruto da Produção agropecuária do Brasil em 2021 (MAPA, 2021). Também comportam 47,0% do rebanho nacional, cerca de 102,4 milhões de cabeças de gado (IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal, 2020).

Um dos estados onde a Minerva Foods possui duas plantas frigoríficas é o Mato Grosso, especificamente nos municípios de Mirassol D'Oeste e Paranatinga. Atualmente, o estado ocupa a posição de liderança de maior efetivo de rebanho do Brasil (IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal, 2020), seguido pelo estado de Goiás onde também há uma planta frigorífica localizada no município de Palmeiras de Goiás.

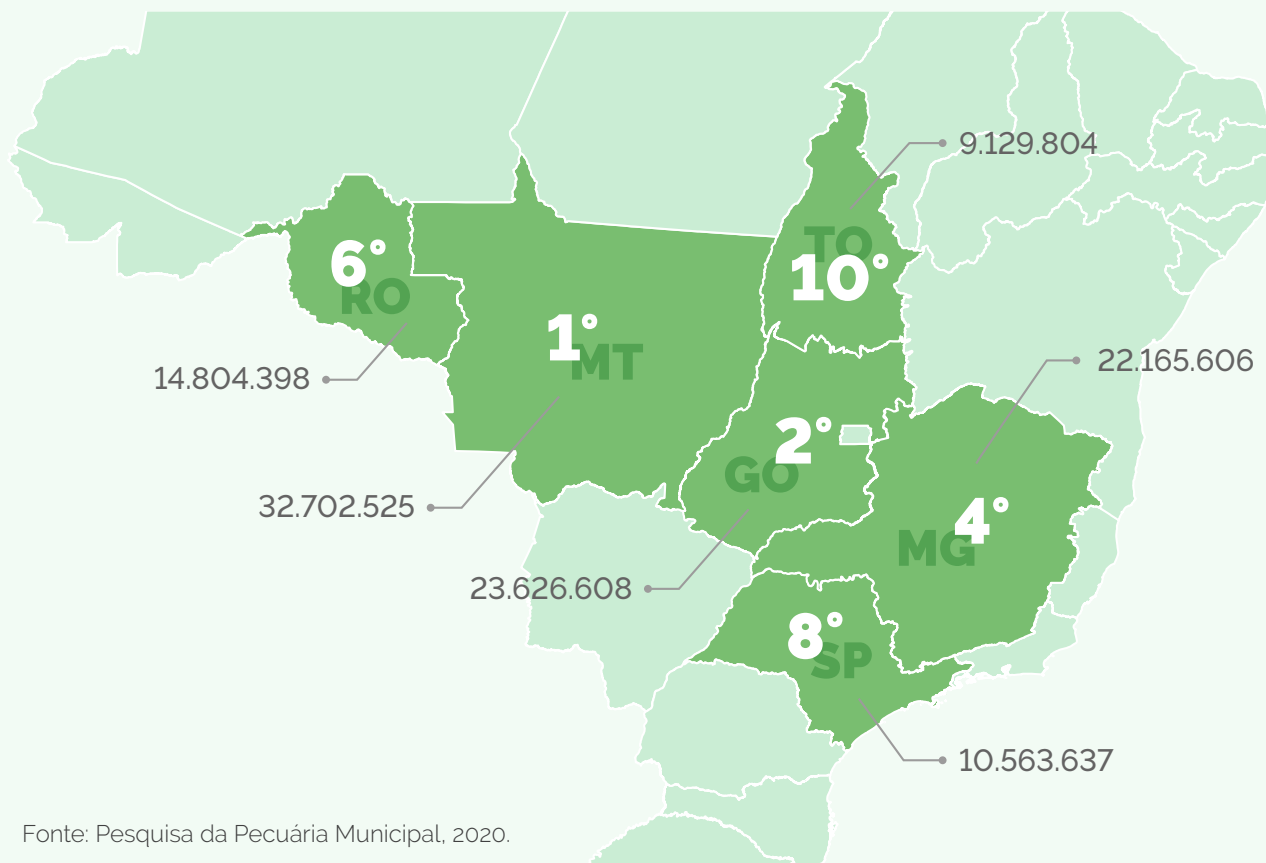
De acordo com dados do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig/UFG), no ano de 2020, o MT possuía área total de pastagens mapeadas de 19,7 milhões de hectares, correspondente a 21,87% da área do estado e 12,3% das pastagens em território nacional. Já para Goiás essa área foi de 13,8 milhões de ha, 39,58% do estado, isto é, 8,4% das pastagens em território nacional.

Outro estado que conta com uma unidade frigorífica da Minerva Foods é Minas Gerais, no município de Janaúba. Nesse estado, as áreas de pastagens contemplam 19,9 Mha, isto é, 33,98% do território de estado e 12,4% das pastagens em território brasileiro. O estado possui o 4º maior efetivo de rebanho do Brasil. As unidades de abate em São Paulo ficam nos municípios de Barretos e José Bonifácio, na microrregião de São José do Rio Preto, que ocupa o segundo lugar de maior efetivo bovino do estado de São Paulo. O estado de SP, por sua vez, possui o 4º maior efetivo de rebanho do Brasil.

A Minerva Foods também possui plantas posicionadas estrategicamente nos municípios de Rolim de Moura, em Rondônia, e em Araguaína, no Tocantins cujos efetivos rebanhos de estado ocupam o 6º e o 10º maior efetivo de rebanho no Brasil.



FIGURA 4. Estados com unidade de abate da Minerva Foods e respectivo efetivo de rebanho bovino (n° de cabeças) em 2020



Fonte: Pesquisa da Pecuária Municipal, 2020.

As propriedades do estudo são fornecedoras das plantas de José Bonifácio/SP, Rolim de Moura/RO, Palmeiras de Goiás/GO, Mirassol do Oeste/MT. Essas propriedades diferem entre si, já que adotam diferentes técnicas de manejo para o rebanho,

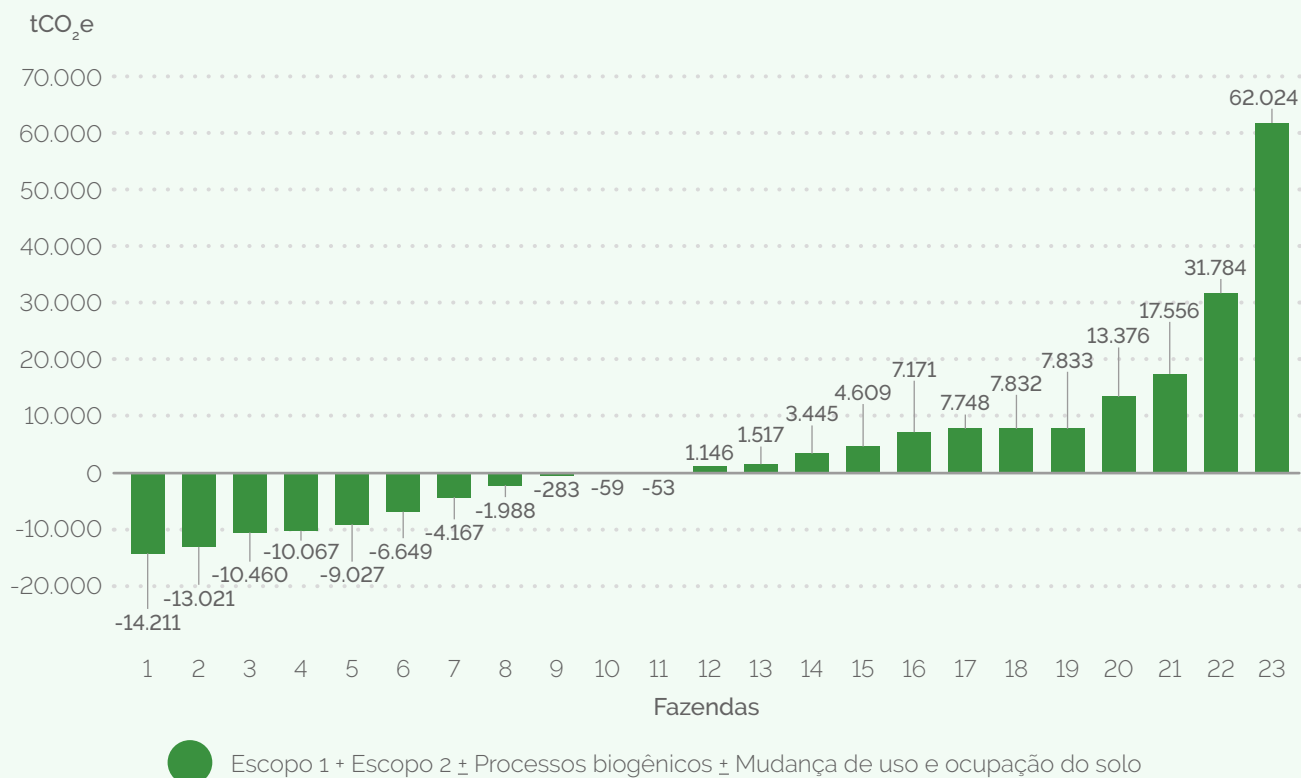
bem como diferentes formas de terminações (em pastagem ou confinamento). Além disso, foram responsáveis pelo fornecimento de 12,6% do volume de cabeças abatidas no ano safra 20/21 no Brasil - período de aplicação do GHG Protocol.

4.1. BALANÇO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PERÍODO 20/21

Os resultados mostram que das 23 propriedades analisadas, 11 tem balanço de emissões de carbono negativo, ou seja, removem mais carbono equivalente do que emitem. Isso significa que essas propriedades, além de compensarem suas emissões, ainda contribuem mitigando carbono.

As propriedades analisadas têm características distintas entre si. Seja em área de cultivo, presença e condições da pastagem, tamanho do rebanho, técnicas de manejo e adubação. Os resultados apresentados no **Gráfico 11** mostram os efeitos agregados de todos esses cultivos e técnicas para as emissões de GEE.

GRÁFICO 11. Balanço das emissões de Gases de Efeito Estufa para as propriedades analisadas



Os resultados obtidos consideram desde a aplicação de insumos, transição do uso da terra, tamanho do rebanho, manejo de dejetos de animais até o consumo de energia e combustível nas operações realizadas no ano safra 20/21. Esses fatores podem variar ano após ano dentro de uma mesma propriedade rural. A aplicação de insumos, por exemplo, pode estar relacionada à recuperação de pastagem, que é uma operação que pode não ser repetida anualmente. Segundo Oliveira et al. (2005), uma vez recuperada, a pastagem submetida ao manejo adequado tanto da planta quanto do solo, pode persistir durante décadas, sem necessidade de reforma.

As propriedades com emissões líquidas mais elevadas são aquelas que possuem sistemas de confinamento bovino e, conseqüentemente,

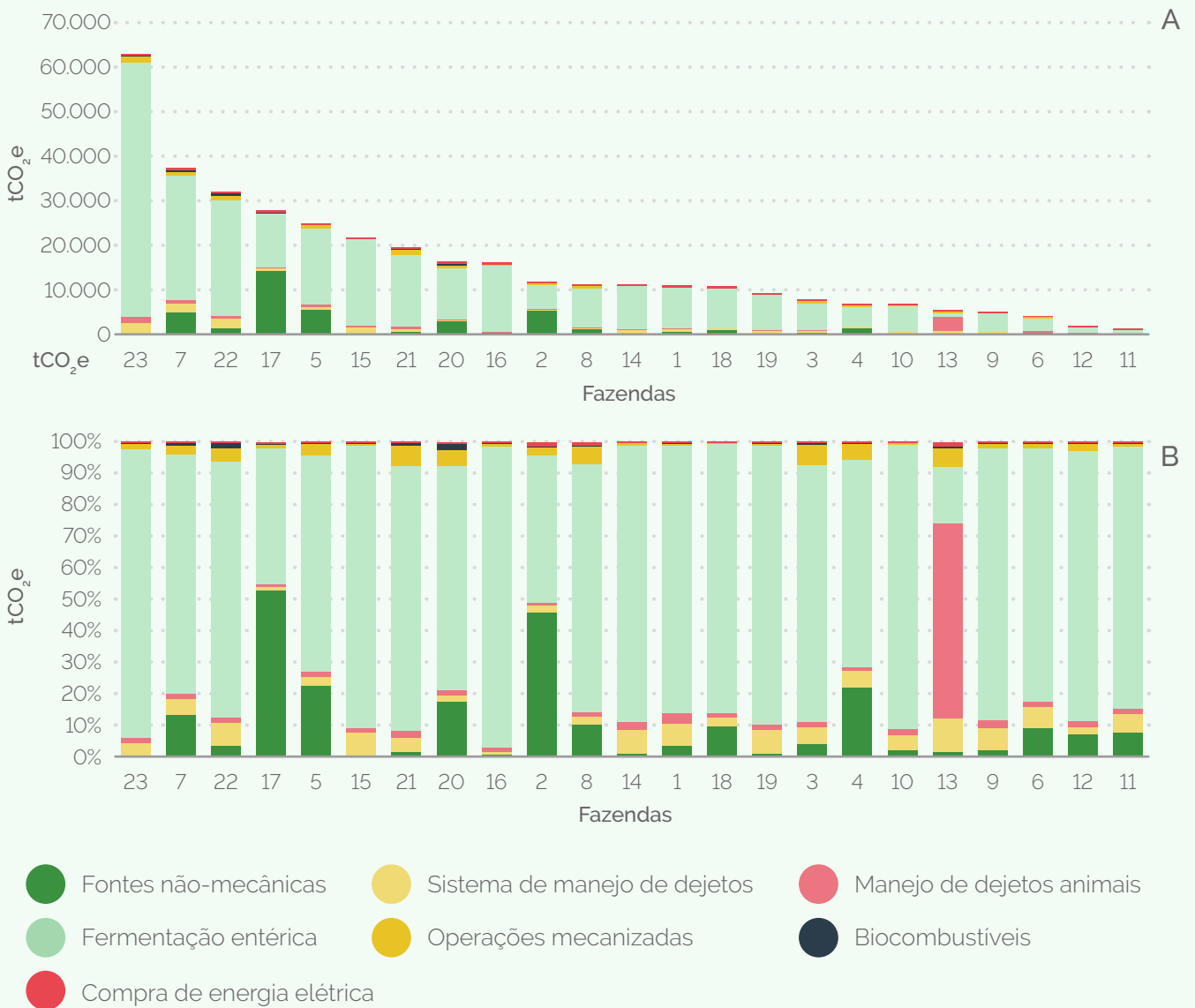
seus respectivos sistemas produtivos capazes de mitigar GEE não conseguem compensar as emissões provenientes da fermentação entérica, o popular "aroto" do boi, que representa um ponto crítico na consolidação da pecuária sustentável. O **Gráfico 12 A e B**, a seguir, apresenta a dinâmica das fontes de emissão de cada propriedade.

O **Gráfico 12 A** apresenta a contribuição absoluta de cada fonte para o total emitido. É possível observar que a ordem das propriedades que mais emitem é diferente daquela apresentada no **Gráfico 11**, do balanço de emissões. A Fazenda 7, por exemplo, apresenta um balanço de carbono negativo de 4.167 t CO₂e. Isto é, a fazenda emite 30.774,1 t CO₂e, provenientes principalmente da fermentação entérica e remove da atmosfera 36.312,5 t CO₂e, devido às práticas de mudan-

ças do uso do solo, por isso balanço negativo. A principal fonte de emissão dessa fazenda é a fermentação entérica, característica também vista nas demais propriedades. Isso acontece porque o balanço considera tudo o que foi emitido pela propriedade, bem como toda as remoções, que acontecem principalmente por alterações no uso do solo. Como já apresentado anteriormente, tec-

nologias como recuperação de pastos degradados ou conversão de pastagens em sistemas integrados tem o potencial de remover carbono da atmosfera. O Gráfico 12 B apresenta a contribuição relativa de cada fonte para o total emitido. A fermentação entérica responde pela maior parcela das fontes de emissões analisadas e é também a principal fonte de emissões do rebanho nacional.

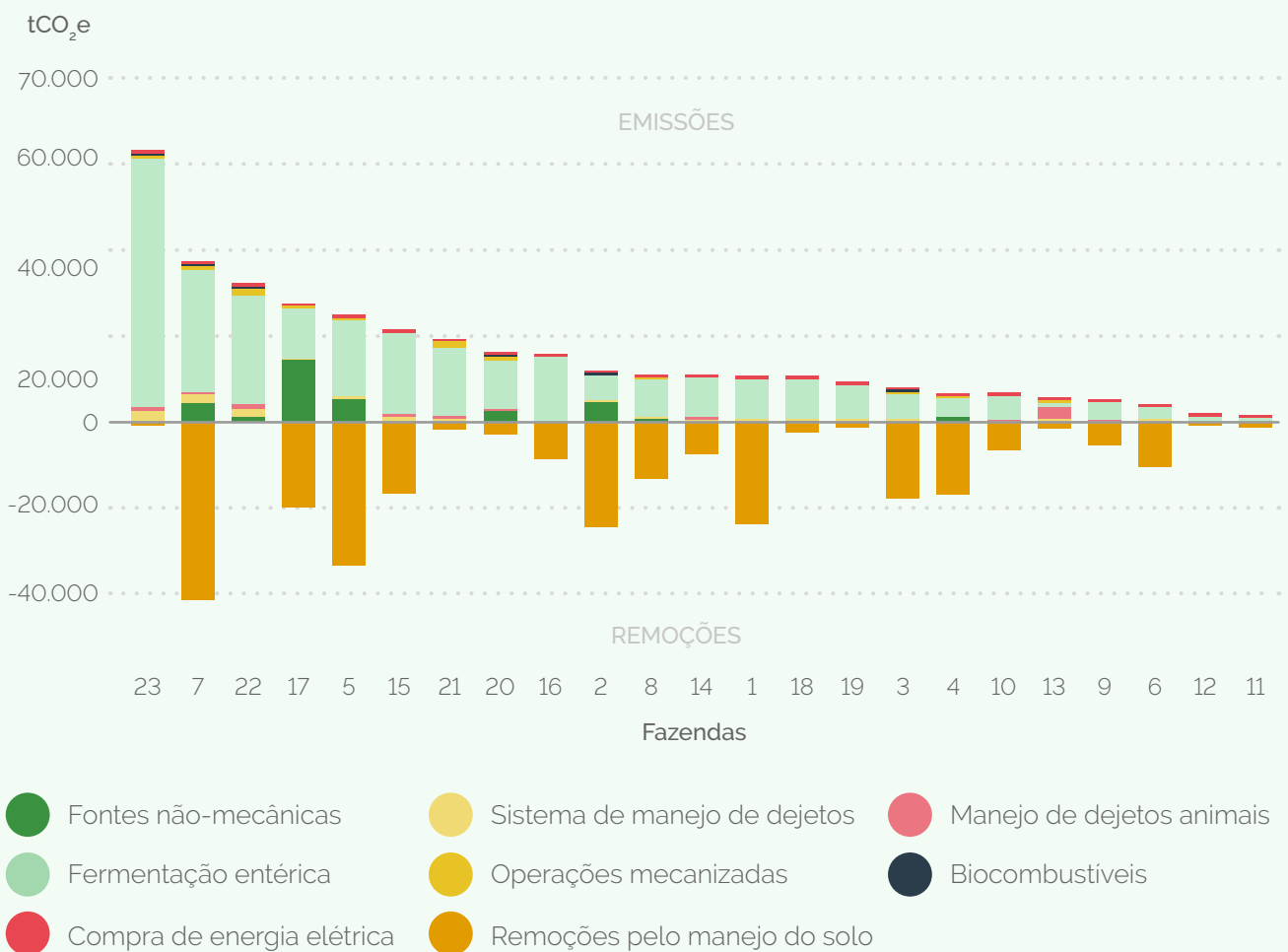
GRÁFICO 12. Contribuição Absoluta (A) e Relativa (B) das Fontes de Emissões de Gases de Efeito Estufa para as Propriedades Analisadas



O **Gráfico 13** também apresenta as principais fontes de remoção de gases de efeito estufa em cada propriedade. Seguindo o exemplo da Fazenda 7, é possível observar que, apesar das emissões dessa propriedade atingirem 36.965,1 t CO₂e, as remoções foram

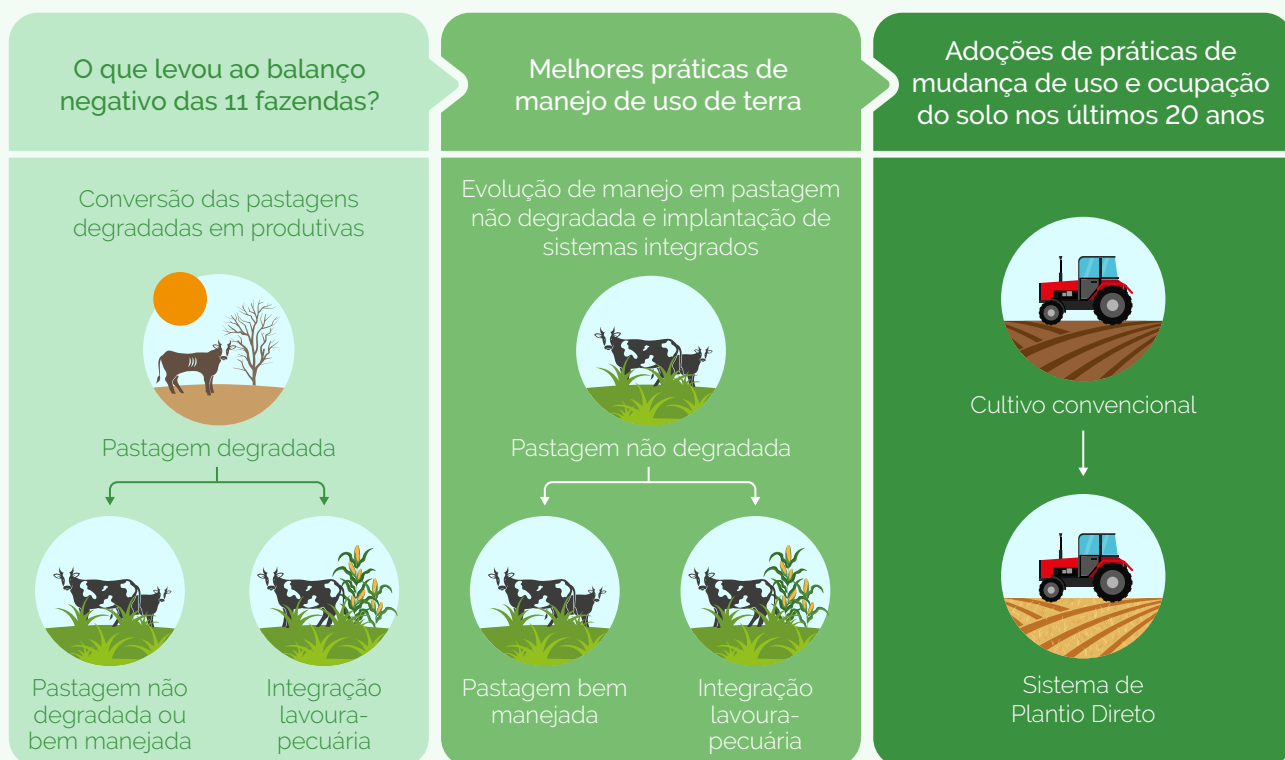
de 41.132,5 t CO₂e. Esse resultado foi possível porque houve conversão de áreas de pastagem em áreas com Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Com isso, a quantidade de CO₂e removida da atmosfera foi superior à quantidade emitida.

GRÁFICO 13. Fontes de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa para as Propriedades Analisadas



Entretanto, as atividades identificadas dentro da porteira das propriedades com balanço de carbono negativo podem ser definidas pelas melhores práticas de manejo de uso da terra nos últimos 20 anos. Identificam-se pro-

priedades em que há recuperação de pastagem, estabelecendo pastos sempre bem manejados com reformas ou com a adoção de sistemas integrados, além da adoção do plantio direto.



Quando dividimos as atividades de dentro da porteira, ou seja, agricultura e pecuária, é possível observar, conforme o **Gráfico 14**, que para a maioria das propriedades a agricultura remove e a pecuária emite. O que define se o balanço de emissões será negativo é o quanto a agricultura remove, pelas mudanças relacionadas ao uso do solo, a mais do que o rebanho da pecuária emite. Por causa de seus sistemas radiculares, as pastagens e agricultura fornecem grandes quantidades de carbono para o solo, e armazenam uma quantidade substancial de C como biomassa (Jansson et al., 2010).

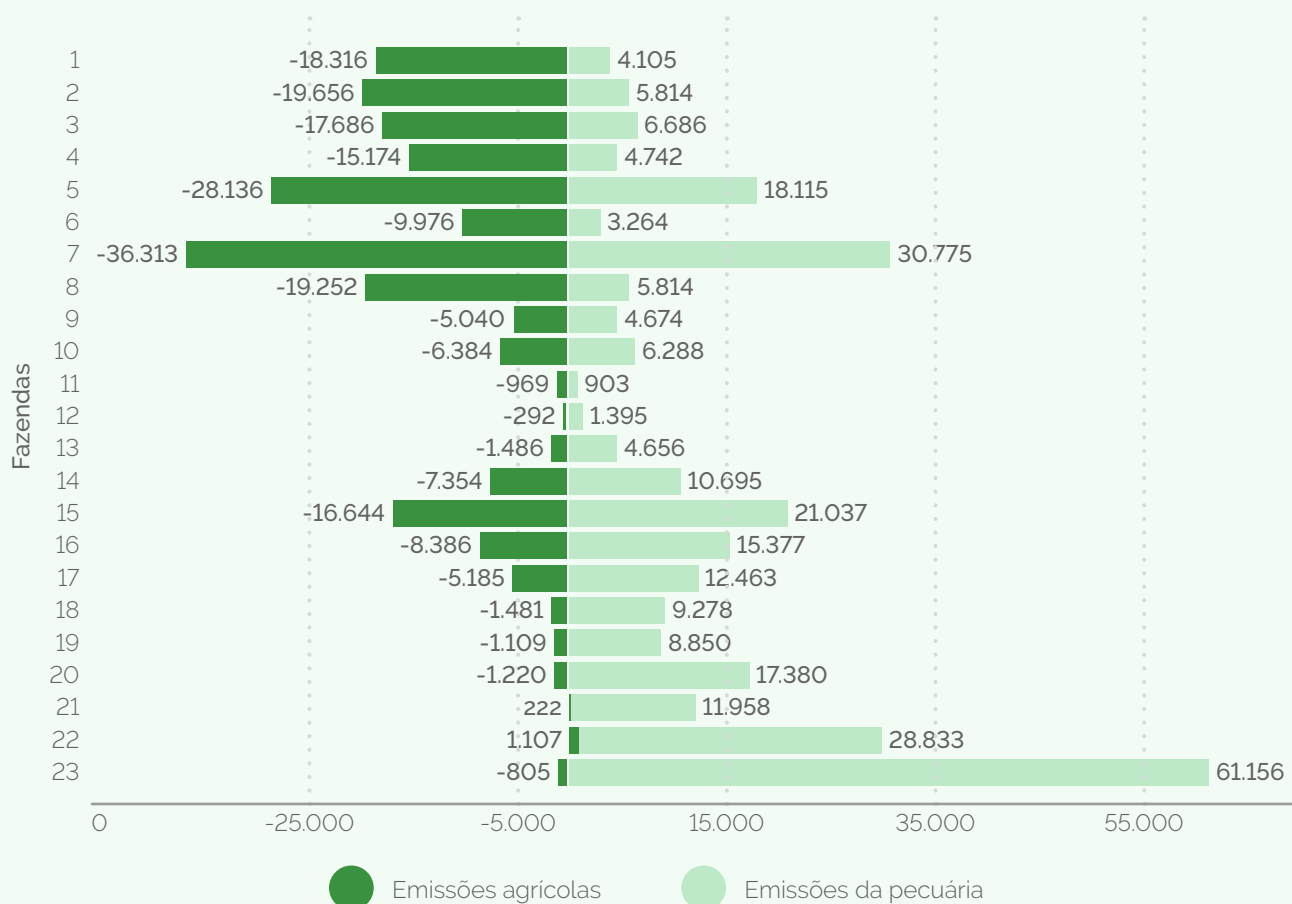
Isso acontece porque a agricultura brasileira, atualmente, tem acesso à diversas tecnologias que promovem estoque de carbono nos

solos e aumento da produtividade, além de serem avanços na busca por um sistema mais sustentável. Sistemas integrados com floresta, sistema de plantio direto e fixação biológica de nitrogênio são exemplos dessas tecnologias.

Ao utilizar essas tecnologias dentro da propriedade, o agricultor passa a contribuir com a redução das emissões de GEE ou até mesmo consegue gerar um balanço negativo, ou seja, a quantidade de GEE estocada na propriedade é maior do que a emitida. Além disso, a adoção dessas tecnologias faz parte da implementação de Boas Práticas Agrícolas⁸ e possibilitam ao produtor desenvolver formas mais efetivas para aumentar rentabilidade em todo o processo produtivo, evitando desperdícios.

8 Conjunto de protocolos e recomendações técnicas para nortear todo o processo de produção, processamento e transporte de alimentos e têm como objetivo aumentar a produtividade agrícola e diminuir possíveis prejuízos à saúde humana, aos trabalhadores rurais e ao meio ambiente.

GRÁFICO 14. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fonte de Emissão (Agrícola e Pecuária) para as Propriedades Analisadas



As Boas Práticas Agrícolas servem também como uma forma de auxiliar na mitigação das emissões vindas da pecuária. Nesse caso, como há a emissão de metano do rebanho, gerada principalmente pelo processo de fermentação entérica, a estratégia é adotar tecnologias que compensem essas emissões, como por exemplo, a aumentar qualidade das pastagens em relação ao aumento do estoque de carbono no solo, que também pode contribuir para o ganho de peso vivo e reduzir o tempo de abate

do animal, além de um manejo mais eficiente de dejetos. O **Gráfico 15** mostra as emissões por mil cabeças de gado das 23 propriedades fornecedoras parceiras da Minerva Foods, bem como a média do Brasil. Apenas uma propriedade apresenta emissões acima da média.

Para se calcular a média de emissões para o Brasil foi necessário determinar o valor total das emissões geradas pelo rebanho brasileiro, por estado e por categoria animal⁹ e ponderar essas emissões pelo tamanho total desse

⁹ Esse esforço foi necessário porque os fatores de emissão utilizados nos cálculos de emissão de gases de efeito estufa variam de acordo com a localidade e idade do animal. O cálculo detalhado está presente no anexo.

rebanho. Essa categorização permite calcular com mais robustez o volume das emissões do rebanho nacional em determinado ano. Frente

a essas informações, é possível definir qual é a "Média Brasil" das emissões do rebanho brasileiro. Essa média é dada por:

$$(1) \quad \mu_{Br} = \frac{\sum_{uf,T} \left(EF_{uf,T} \times \left(\frac{N_T}{10^6} \right) \right) + \sum_{uf,T} \frac{(EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^6}}{\sum_T(N_T)}$$

Rearranjando:

$$\mu_{Br} = \frac{\sum_{uf,T} \left(\frac{(EF_{uf,T} \times N_T) + (EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^3} \right)}{\sum_T(N_T)}$$

Onde:

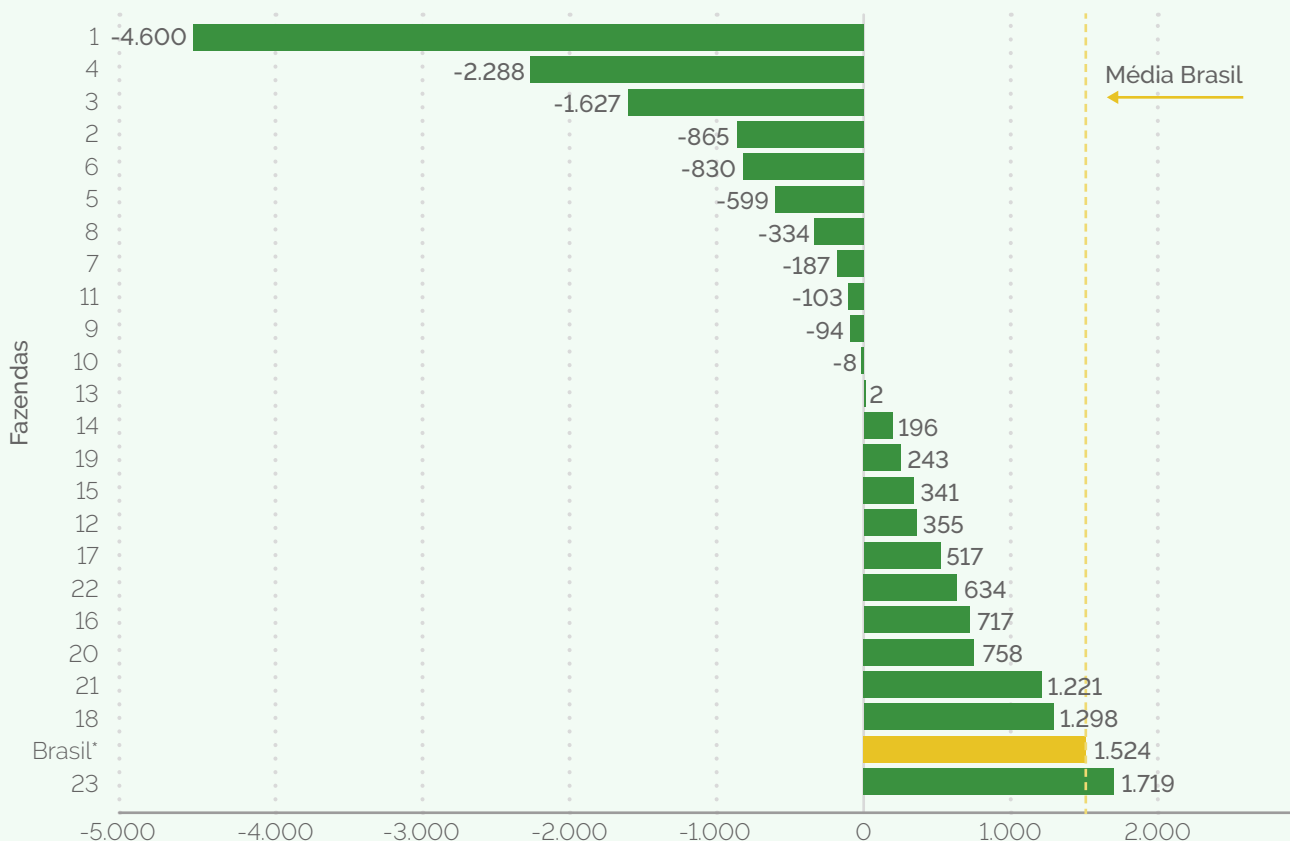
μ_{Br} = Média brasileira das emissões da pecuária, mil cabeças de gado/ano

$EF_{uf,T} \times \left(\frac{N_T}{10^6} \right)$ = Emissões de metano da fermentação entérica, Gg CH₄/ano

$\frac{(EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^6}$ = Emissões de CH₄ do manejo de dejetos por categoria animal, Gg CH₄/ano

N_T = Número de cabeças por categoria animal T

GRÁFICO 15. Emissões de Gases de Efeito da Pecuária por Mil Cabeças de Gado para as Propriedades Analisadas



Fonte: MCTI - Quarto inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa, 2020.

Isso significa que a média Brasil representa todas as emissões da pecuária nacional ponderadas pelo tamanho do rebanho. Portanto, na média, o Brasil emite 1.524 toneladas de CO₂e para cada mil cabeças de gado. Dentre todas as propriedades analisadas, apenas a Fazenda 23 está emitindo acima dessa média. A emissão total dessa propriedade é de 1.725 toneladas de CO₂e para cada mil cabeças de gado. Um fator determinante é o volume de animais do rebanho computados para a análise das emissões de GEE, que mesmo associado a uma tecnologia que remove carbono, ainda é grande o suficien-

te para fazer com que esse sistema produtivo seja emissor. A maior parte das emissões dessa propriedade, cerca de 92%, tem como origem a fermentação entérica dos ruminantes.

É importante considerar que a ferramenta *GHG Protocol* calcula as emissões em um ponto específico do tempo, nesse caso para as emissões ocorridas em um ano-safra. Portanto, a ferramenta não considera o dinamismo do ciclo de vida de metano, um gás de vida atmosférica curta. Ou seja, a ferramenta só considera o metano que está sendo emitido no período específico da análise, não



retrata as emissões removidas da atmosfera por meio do próprio ciclo biogênico¹⁰ do gás. Ainda assim, a ferramenta considera todas as remoções que ocorrem no mesmo período em que as emissões analisadas, oferecendo como resposta o balanço das emissões e remoções da propriedade.

Um resultado que chama atenção é que das 23 propriedades, 11 apresentam emissões negativas, ou seja, para cada mil cabeças de gado presentes em cada uma dessas fazendas, há remoção de CO₂e ao invés de emissões. Isso é possível porque há a presença de tecnologias de mitigação de emissões de carbono, que compensam as emissões do rebanho. Além disso, há 3 propriedades em que a remoção de carbono é superior ao observado na média Brasil, ou seja, superior a 1.524 toneladas de CO₂e para cada mil cabeças de gado. Isso significa que essas propriedades, além de removerem o equivalente à sua emissão líquida de GEE, ajudam a compensar as emissões médias de pelo menos outras mil cabeças do rebanho nacional. Esses recursos permitem aos produtores incluir o reporte e a mitigação

de emissões de GEE em suas estratégias de produção e planejamento anual.

Dessa forma, podemos observar a importância de determinar o balanço de emissões de GEE das propriedades analisadas, suas respectivas fontes de emissão e de remoção dentro da porteira. Com isso, observa-se também a importância dos esforços empenhados na utilização de tecnologias de baixa emissão e/ou de remoção de carbono da atmosfera das propriedades analisadas. Algumas delas são capazes de compensar as próprias emissões e contribuir para a compensação de emissões vindas de outras atividades, inclusive não geradas por elas, cuja fonte proveniente se localiza fora da porteira.

Num cenário global em que os impactos gerados pelas mudanças climáticas já vem causando enormes prejuízos, a atenção mundial tem se voltado cada vez mais para o metano, sobretudo pelo emitido pelo rebanho brasileiro e foco neste trabalho, essas propriedades fornecedoras do frigorífico da Minerva Foods já se destacam por terem um desempenho superior quando comparadas à média nacional.

10 O ciclo biogênico do metano tem início no momento em que as plantas capturam dióxido de carbono da atmosfera como parte da fotossíntese. Em seguida, essas plantas servem como fonte de alimentação ao animal que está no pasto. Durante o processo de digestão dos ruminantes, o carbono ingerido se transforma em gás metano que é então expelido pelo boi para a atmosfera. Este metano permanece lá por 12 anos e, em seguida, se quebra em torna dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água (H₂O). O CO₂ resultante é reciclado e retorna ao ciclo através da fotossíntese. Portanto, o metano biogênico tem como origem o carbono derivado do dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera PINTO et al., 2022).

05 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O agronegócio brasileiro é um setor economicamente representativo, resultado de sua aptidão agrícola, que o coloca em um patamar de destaque global em relação à produção de alimentos, concedendo ao país um papel fundamental na segurança alimentar global. A garantia da segurança alimentar tornou-se uma questão fundamental para países com diferentes graus de desenvolvimento econômico, enquanto o setor agrícola desempenha um papel estratégico na melhoria da disponibilidade de alimentos.

O setor agropecuário brasileiro é capaz de contribuir com essa agenda, já que vem se desenvolvendo ao longo dos anos e mostrando que é capaz de ampliar sua produção agropecuária sem aumentar, na mesma proporção, a conversão de vegetação nativa e as emissões de gases de efeito estufa. Esse resultado é consequência da disponibilidade de terras agricultáveis, mão de obra capacitada e tecnologias tropicais sustentáveis.

Tecnologias como a recuperação de pastagens degradadas, os sistemas de produção integrados, o sistema de plantio direto e a fixação biológica de nitrogênio promovem não só a manutenção e incremento da produtividade como também a resiliência desses sistemas aos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, essas tecnologias promovem o efeito "poupa terra", no qual é possível aumentar a produção sem a abertura de áreas de vegetação nativa para produção agropecuária.

Essas tecnologias, para a redução das emissões de GEE provenientes das ativida-

des agropecuárias, vem sendo incentivadas na esfera federal por meio de planos voltados para a agricultura sustentável, como o Plano Setorial de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, o Plano ABC +, que tem como meta reduzir a emissão de carbono equivalente em 1,1 bilhão de toneladas no setor agropecuário até 2030 e viabiliza parte desse processo ofertando crédito via Programa ABC, que se caracteriza como um financiamento a investimentos que contribuam para a redução de impactos ambientais causados por atividades agropecuárias.

É importante compreender a necessidade de políticas e incentivos voltadas para o produtor rural. Essas políticas devem facilitar o acesso ao crédito rural, à transferência de tecnologias e à ampliação de assistência técnica para que o produtor seja, cada vez mais, capaz de alavancar a produtividade agropecuária ao mesmo tempo em que reduz as emissões de gases de efeito estufa de sua propriedade.

Esse tipo de iniciativa é relevante dadas as discussões a nível global envolvendo segurança alimentar, mudanças climáticas e redução de emissões de gases de efeito estufa. É fundamental ampliar a produção de alimentos de forma cada vez mais sustentável. Nesse sentido o *GHG Protocol* Agrícola e Pecuária se apresenta como um avanço, já que permite que o produtor seja capaz de mensurar as emissões e remoções geradas por atividades desempenhadas dentro da porteira, auxiliando, assim, na tomada de decisões. A ferramenta utiliza metodologias e fatores de

emissão específicos para a realidade brasileira, pautados em estudos científicos, como forma de contabilizar as emissões geradas bem como avaliar a manutenção e/ou implementação de tecnologias mitigadoras.

Esse tipo de controle a nível de propriedade rural é efetivo para trazer respostas a perguntas que são feitas no âmbito global e impactam diretamente a agropecuária brasileira. Se por um lado espera-se aumento da demanda por alimentos fomentado pela expansão da população mundial, que deve atingir 9,7 bilhões de pessoas até 2050¹¹, por outro espera-se um aumento da exigência por parte dos consumidores e do mercado externo, que já se mostram mais rigorosos e buscam a garantia de práticas agrícolas sustentáveis. Essas exigências passam por discussões globais envolvendo taxaço de carbono na fronteira, bem como mercados de comercialização de carbono.

Portanto, a adoção das tecnologias de baixa emissão de carbono permite que os produtores rurais estejam alinhados aos novos padrões de demanda global. O presente estudo mostra que essas tecnologias foram aplicadas por propriedades de 3 diferentes regiões do país (Norte, Centro-Oeste e Sudeste) que abrangem 3 diferentes biomas (Cerrado, Mata Atlântica e Amazonia). Seus resultados mostram que, apesar das diferentes características de solo e vegetação, a eficácia da implementação dessas tecnologias se mantém. Para o caso da pecuária, por exemplo, 22 das 23 propriedades analisadas apresentaram uma taxa de emissão de GEE por mil cabeças de gado abaixo da média nacional.



Apesar de apenas uma propriedade não apresentar menor taxa de emissão de GEE por cabeça de gado, não necessariamente significa que não há tecnologia de redução futura das emissões em seu sistema produtivo. As metas climáticas e a demanda crescente por carne impulsionam a busca científica por tecnologia e inovação para diminuição de produção de metano na pecuária, sem que haja redução de produtividade. Esse desempenho, bem como seu monitoramento, pode beneficiar produtores e sociedade, contribuindo para o meio ambiente, atendendo as demandas dos consumidores e se provando adequadas a esse mercado externo.

11 Fonte: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D. et al. Papel do Plano ABC e do Planaveg na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. Disponível online em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>

BALBINO, L. C., et. al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 46. 2011.

CAMPOS, J. G. F.; FISCHAMANN, A. A. Visão estratégica das mudanças climáticas na cadeia produtiva da carne bovina no Brasil. In: SINGEP, n°3, 2014, São Paulo. Anais. Disponível em < <https://singep.org.br/3singep/resultado/388.pdf> >

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA) E CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (CNA). PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2021. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> >.

Climate Watch. 2022. Washington, D.C.: World Resources Institute. Disponível em: www.climatewatchdata.org. Acesso em: janeiro de 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Grãos, Safra 21/22. Quarto levantamento, janeiro de 2022. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: janeiro de 2022.

CONCEIÇÃO, M. C. G. DA et al. Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. 2017.

CORDEIRO, L.A.M., VILELA, L., MARCHÃO, R.L., KLUTHCOUSKI, J. AND MARTHA JÚNIOR, G.B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. 2015.

FIGUEIREDO, E.B., JAYASUNDARA, S., DE OLIVEIRA BORDONAL, R., BERCHIELLI, T.T., REIS, R.A., WAGNER-RIDDLE, C. AND LA SCALA JR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. Journal of Cleaner Production, 142, pp.420-431. 2017.

HERNANI, L.C., SALTON, J.C. Manejo e conservação do solo. Embrapa Agropecuária Oeste- -Outras publicações técnicas (INFOTECA-E). 1998.

IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal 2021. Tabela 3939: efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho. [Rio de Janeiro, 2022e]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso em: fevereiro de 2022.

Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2019. Complete Report U.S. Government to meet U.S. commitments under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2019>. Acesso em: janeiro de 2022.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; Mercado de trabalho do agronegócio. Brasília: Ipea, 2022.

JANSSON, C., WULLSCHLEGER, S., KALLURI, U.C., TUSKAN, G. A.. Phytosequestration: Carbon Bio-sequestration by Plants and the Prospects of Genetic Engineering, *BioScience*, Volume 60, Issue 9, October 2010, Pages 685–696, <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.6>

LOPES, Maurício Antonio. Escolhas estratégicas para o agronegócio brasileiro. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, DF, ano 26, n. 1, p. 151-154, jan./fev./mar. 2017. Disponível online em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/163235/1/Escolhas-estrategicas.pdf>

MANZATTO, C. et al. Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Agrostat. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>. Acesso em: março de 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC. Brasília: [s.n.]. 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>. Acesso em janeiro de 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO, MDIC. ComexStat - Sistema de Estatísticas do Comércio exterior. Brasília. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/general> Acesso em: abril de 2022.

MORAES, A.D., CARVALHO, P.C.D.F., LUSTOSA, S.B.C., LANG, C.R. AND DEISS, L. Research on integrated crop-livestock systems in Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, 45, pp.1024-1031. 2014.

OLIVEIRA, B.C.S., DE ARAÚJO, A.C., PINTO, C.A.D., SOUZA, C.D.A., SANTIAGO, A.V. AND TRINDADE, I.A. Caracterização da variação sazonal do CO₂ atmosférico em sistema iLPF no Leste da Amazônia. 2018.

OLIVEIRA, P.P.A., et. al. Fertilização com N e S na recuperação de pastagem de Brachiaria brizantha cv. Marandu em Neossolo Quartzarênico. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, pp.1121-1129. 2005.

Projeto MapBiomias – Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em: www.plataforma.brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: abril de 2022.

PINTO, T. P., DE LIMA, C. Z., ESTEVAM, C. G., PAVÃO, E.M., ASSAD, E. D. (2022). *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.

SALTON, J.C., MERCANTE, F.M., TOMAZI, M., ZANATTA, J.A., CONCENÇO, G., SILVA, W.M., RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, pp.70-79. 2014.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima. Disponível em: www.seeg.eco.br. Acesso em: abril de 2022.

SKORUPA, L.A., MANZATTO, C.V. Avaliação da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) no Brasil. 2019.

STRASSBURG, B.B., LATAWIEC, A.E., BARIONI, L.G., NOBRE, C.A., DA SILVA, V.P., VALENTIM, J.F., VIANNA, M. AND ASSAD, E.D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, 28, pp.84-97. 2014.

TUBIELLO, F., C. ROSENZWEIG, G. CONCHEDDA, K. KARL, J. GÜTSCHOW, X. PAN, G. GRIFITHS OBLI-LARYEA, S. QIU, J. DE BARRIOS, A. FLAMMINI, E. MENCOS CONTRERAS, L. SOUZA, R. QUADRELLI, H.H. HEIÐARSDÓTTIR, P. BENOIT, M. HAYEK, AND D. SANDALOW. Greenhouse gas emissions from food systems: Building the evidence base. *Environ. Res. Lett.*, 16, no. 6, 065007, doi:10.1088/1748-9326/ac018e. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG. (2020). LAPIG MAPS. Disponível em: <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/dados-geograficos>

USDA - United States Department of Agriculture. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>. Acesso em: abril de 2022.

ANEXO

01

METODOLOGIA DE CÁLCULO PARA A MÉDIA DAS EMISSÕES DO REBANHO BRASILEIRO PARA CADA MIL CABEÇAS

A seguir é apresentada a metodologia de cálculo utilizada para o cálculo da média das emissões do rebanho brasileiro para cada mil cabeças de gado.

Essa média é dada por:

$$(1) \quad \mu_{Br} = \frac{\sum_{uf,T} \left(EF_{uf,T} \times \left(\frac{N_T}{10^6} \right) \right) + \sum_{uf,T} \frac{(EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^6}}{\sum_T(N_T)}$$

Rearranjando:

$$\mu_{Br} = \frac{\sum_{uf,T} \left(\frac{(EF_{uf,T} \times N_T) + (EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^3} \right)}{\sum_T(N_T)}$$

Onde:

μ_{Br} = Média brasileira das emissões da pecuária, mil cabeças de gado/ano

$EF_{uf,T} \times \left(\frac{N_T}{10^6} \right)$ = Emissões de metano da fermentação entérica, Gg CH₄/ano

$\frac{(EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^6}$ = Emissões de CH₄ do manejo de dejetos por categoria animal, Gg CH₄/ano

N_T = Número de cabeças por categoria animal T

O primeiro passo para o cálculo das emissões totais do rebanho brasileiro foi determinar as emissões geradas pela **fermentação entérica**¹², portanto:

¹² Os cálculos foram baseados na metodologia descrita no Volume 4, Capítulo 10, do IPCC *Guidelines* (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.4, C.10, Livestock)

$$(2) \quad \text{Emissões}_{FE} = EF_{uf,T} \times \left(\frac{N_T}{10^6} \right)$$

Onde:

Emissões = Emissões de metano da fermentação entérica, Gg CH₄/ano

EF_T = Fator de emissão definido por categoria animal, Kg CH₄/cabeça/ano

N_T = Número de cabeças por categoria animal *T*

EMISSÕES PELO MANEJO DOS DEJETOS DOS ANIMAIS

Emissões de CH₄

Também foi necessário determinar as emissões pelo **manejo dos dejetos** dos animais¹³. As equações levam em consideração a população animal, percentual de utilização de cada tipo de tratamento e condições climáticas. As equações utilizadas são:

$$(3) \quad \text{Emissões}_{CH_4} = \sum_{uf,T} \frac{(EFM_{uf,T} \times N_T)}{10^6}$$

$$(4) \quad EFM_{uf,T} = (VS_{uf,T} \times 365) \times \left[B_{0,T} \times 0,67 \times \sum_s \frac{MCF_s}{100} \times MS_{uf,S,T} \right]$$

onde:

Equação (3)

Emissões CH₄ = emissões de CH₄ do manejo de dejetos por categoria animal,
Gg CH₄/ano

EFM_T = fator de emissão definido por categoria animal, Kg CH₄/cabeça/ano

N_T = número de cabeças por categoria animal *T*

Equação (4)

VS_{uf,T} = Sólido Volátil diário excretado para animais da categoria *T* (Kg/MS/animal/dia)

365 = Base para calcular produção anual de VS (dias/ano)

B_{0,T} = Capacidade máxima de produção de metano para esterco produzido pela categoria animal, m³/CH₄/kg de VS excretada

0,67 = Fator de conversão de m³ CH₄ para Kg de CH₄

¹³ Os cálculos foram baseados na metodologia descrita no Volume 4, Capítulo 10, do IPCC *Guidelines* (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.4, C.10, Livestock)

MCF_S = Fatores de conversão de metano para cada sistema de manejo de esterco S por região climática K (uf) (%)

$MS_{uf,S,T}$ = Fração de esterco da categoria de animais T manejados com sistema de manejo de dejetos S na região climática K (uf)

Sólidos Voláteis

$$(5) \quad VS_{uf,T} = \left[GE_{uf,T} \times \left(1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE_{uf,T} \times GE_{uf,T}) \right] \times \left[\left(\frac{1 - ASH_{uf,T}}{18,45} \right) \right]$$

onde:

$VS_{uf,T}$ = excreção de sólido volátil por dia com base na matéria seca (MS), kg SV/dia

$GE_{uf,T}$ = consumo de energia bruta, MJ/dia

$\%DE$ = digestibilidade do alimento em porcentagem (%)

$(UE \times GE)$ = energia urinária expressa como fração de GE

$ASH_{uf,T}$ = teor de cinzas contido no dejetos, calculado como a fração do consumo de MS

$18,45$ = fator de conversão para GE dietético por kg MS (MJ/kg). Esse valor é uma constante de uma ampla gama de alimentos à base de forragem e grãos consumidos pelo gado

Emissões de N_2O

A metodologia de cálculo das emissões de óxido nitroso provenientes de manejo de dejetos animais é a mesma considerada para as emissões de metano. A quantificação das emissões diretas de N_2O pelo manejo de dejetos ($N_2O_{D(MM)}$) foi feita pela multiplicação da excreção total de N (Nex_T) por cada espécie/categoria do rebanho (T), do total de cabeças por categoria (N_T), que acontece em cada tipo de sistema de manejo de dejetos ($MS_{T,S}$) por um fator de emissão específico para o tipo de sistema de manejo utilizado ($EF_{3,S}$), tal como mostrado a seguir:

$$(6) \quad N_2O_{D(MM)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_T \times Nex_T \times MS_{T,S}) \right] \times EF_{3,S} \right] \times \frac{44}{28}$$

$$(7) \quad Nex_T = Nrate_T \times \frac{TAM}{1000} \times 365$$

$$(8) \quad N_2O_{G(MM)} = (N_{volatilization-MMS} \times EF_4) \times \frac{44}{28}$$

$$(9) \quad N_{volatilization-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_T \times Nex_T \times MS_{T,S}) \times \left(\frac{FRAC_{GasMS}}{100} \right)_{T,S} \right] \right]$$

A excreção de N pelos animais (N_{ex_T}) foi estimada utilizando-se a Equação 6, que requer dados a taxa de excreção diária de N (N_{rate_T}) e o peso vivo (TAM) para cada categoria do rebanho que foi considerada no Inventário.

Durante o manejo dos dejetos, perdas de N por volatilização podem ocorrer, e o N volatilizado pode se depositar em outro local, gerando emissões de N_2O , ou emissões indiretas. O cálculo das emissões indiretas ($N_{2O_{G(MM)}}$) foi realizado pela Equação 8, seguindo o *Tier 1*. Foi necessário estimar a quantidade de N volatilizada ($N_{volatilization-MMS}$), calculada pela Equação 9, sendo utilizados valores *default* para a fração do N do dejetos manejado que foi volatilizada ($Frac_{GasMS}$) para cada tipo de manejo de cada categoria do rebanho.

COMPOSIÇÃO DO REBANHO NACIONAL

Para a determinação das emissões de metano e óxido nitroso da fermentação entérica e manejo dos dejetos animais é necessário a classificação da população de bovinos. A população de bovinos pode ser dividida em bovinos de corte - pasto e confinados - e bovino leiteiro. A principal base de dados utilizada é da ANUALPEC, 2021 referente ao rebanho de bovinos de corte, bovinos confinados e bovinos leiteiros.

Foi feito um mapeamento entre as categorias de bovinos de corte da ANUALPEC (T_A) com as categorias do IV Inventário Nacional (T). Esse mapeamento é importante para manter a consistência dos resultados deste estudo com as demais publicações na área, como por exemplo, o IV inventário nacional. Portanto, utiliza-se as categorias T compostas pelos seguintes animais para o rebanho de corte: touros, menores de 1 ano de idade, entre 1-2 anos, fêmeas maiores de 2 anos, machos maiores de 2 anos. Feito esse mapeamento, foi determinado as parcelas de cada categoria animal no rebanho estadual de bovinos da ANUALPEC em 2020. Essas parcelas foram aplicadas no total de rebanho bovino da ANUALPEC. Assim, tem-se o rebanho bovino de corte definido por categoria animal (T).

O próximo passo foi a determinação do rebanho bovino em confinamento. Esse dado é obtido diretamente na base de dados da ANUALPEC. Assim, tem-se o rebanho bovino confinado definido por categoria animal (T) onde $T = \{conf\}$.

Já para o rebanho bovino leiteiro foram combinadas informações da Pesquisa Pecuária Municipal do IBGE, com os dados da ANUALPEC. Na primeira etapa, foi identificado em nível municipal o total de vacas leiteiras (cabeças) e produção de leite (mil litros). Seguindo a metodologia do IV inventário nacional, foi estabelecido o *threshold* de 2.000 litros/cabeça/ano para determinar a classificação entre alta produção ou baixa produção leiteira. Portanto, produtividade maior ou igual ao *threshold* é classificado como alta produção. Ao final dessa etapa, tem-se com os dados da PPM-IBGE o rebanho bovino leiteiro definido por categoria animal (T) onde $T = \{alta, baixa\}$. Na próxima etapa, foram determinadas as parcelas estaduais por categoria na base de dados da PPM-IBGE. Essas parcelas foram utilizadas para a desagregação dos dados de rebanho bovino leiteiro da ANUALPEC. Assim, tem-se o rebanho bovino leiteiro definido por categoria animal (T) onde $T = \{alta, baixa\}$.

