



ESTIMATIVA DE
EMISSÕES DE
**GASES DE
EFEITO ESTUFA**
DOS SISTEMAS ALIMENTARES NO BRASIL



2023



Autores

Ane Alencar¹

Bárbara Zimbres¹

Edriano Souza¹

David Tsai^{2,5}

Felipe Barcellos e Silva²

Gabriel de Oliveira Quintana⁴

Ingrid Graces²

Iris Coluna³

Julia Zanin Shimbo¹

Kaccnny Carvalho³

Renata Fragoso Potenza⁴

¹ Ipam – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

² IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente

³ ICLEI – Governos Locais para Sustentabilidade

⁴ Imaflores – Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola

⁵ OC – Observatório do Clima

Projeto Gráfico e Diagramação

Bia Gomes (Revue Design)

Cecília Gomes

Ilustração (figura 3)

Mario Kanno

Foto de capa

AdobeStock



Sumário

RESUMO	5
Summary	7
1. Introdução	9
1.1 Objetivo	12
2. Metodologia	13
2.1 Mudança de Uso da Terra e Florestas	16
2.1.1 Emissões do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas relacionadas a cadeia da carne bovina	18
2.2 Agropecuária	18
2.2.1 Emissões do setor de Agropecuária relacionadas a cadeia da carne bovina	20
2.3 Energia e Processos Industriais (PIUP)	22
2.3.1. Energia	22
(i) Produção de fertilizantes e agroquímicos	25
(ii) Consumo de energia em propriedades agropecuárias	26
(iii) Processamento industrial de alimentos	27
(iv) Produção de materiais para embalagens alimentares	27
(v) Transporte e distribuição de alimentos	28
(vi) Comercialização e consumo público	29
(vii) Consumo doméstico de energia para cocção e refrigeração de alimentos	30
(viii) Uso de eletricidade em atividades de sistemas alimentares	31
(ix) Emissões indiretas não consideradas	31
2.3.2 Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)	31
(i) Produção de fertilizantes	32
(ii) Produção de materiais para embalagens alimentares	33
(iii) Uso de HFCs em equipamentos de refrigeração empregados em atividades de sistemas alimentares	33
2.3.3 Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais (PIUP) relacionadas à cadeia da carne bovina	34
2.4 Resíduos	34
2.4.1 Emissões do setor de resíduos relacionadas à cadeia da carne bovina	37
3. Resultados	38
3.1 Emissões totais dos sistemas alimentares	39
3.1.1 Emissões gerais da carne bovina	42
3.2 Emissões gerais da carne bovina	46
3.2.1 Emissões do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas relacionadas a cadeia da carne bovina	49



3.3 Emissões por Mudança de Uso da Terra e Florestas	51
3.3.1 Emissões do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas relacionadas a cadeia da carne bovina.....	62
3.4 Emissões da Agropecuária.....	71
3.4.1 Emissões do setor de Agropecuária relacionadas à cadeia da carne bovina	75
3.5 Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)	75
3.5.1 Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais (PIUP) relacionadas à cadeia da carne bovina.....	80
4. Considerações Finais.....	82
Agradecimentos.....	84
5. Referências Bibliográficas.....	85



Resumo

Os sistemas alimentares respondem por 21% a 37% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE). Entre 1990 e 2019, as emissões desses sistemas aumentaram cerca de 16% (FAO, 2021; IPCC, 2019). Em 2019, a emissão de GEE antropogênica mundial foi de 54 GtCO₂e (GWP-AR5), da qual cerca de 70% foi proveniente dos combustíveis fósseis. Já a participação dos sistemas alimentares nas emissões globais foi de 31%, com a emissão de 16,5 GtCO₂e, lembrando que estes são sistemas transversais a diversos setores. A tendência é de aumento das emissões devido à expectativa de demanda futura por alimentos (COSTA et al., 2022; TUBIELLO et al., 2022; FAO, 2021).

O escopo das emissões provenientes dos Sistemas Alimentares considera as atividades desenvolvidas ao longo de todas as suas cadeias envolvendo as etapas associadas às mudanças de uso da terra que resultam nas emissões geradas pela conversão de uso da terra para usos agropecuários, pela etapa de produção (dentro das porteiras), assim como pela pré e pós-produção, em que processos e produtos são empregados, incluindo o transporte, processamento, insumos, fabricação, consumo e resíduos gerados pelo último elo, que é o consumidor final (FAO, 2021).

O presente estudo visa aumentar a compreensão sobre os sistemas alimentares no Brasil através de um olhar sobre as suas implicações em emissões de gases de efeito estufa. Trata-se de um primeiro exercício de estimativa de emissões de gases de efeito estufa para o conjunto dos sistemas alimentares realizado especificamente para o país. Portanto, as emissões foram mensuradas e alocadas a partir das estimativas já realizadas pelo SEEG.

O estudo mostra que, em 2021, as emissões pelos sistemas alimentares do Brasil corresponderam a 1,8 bilhão de toneladas de dióxido carbônico equivalente (GtCO₂e), ou seja, 73,7% das emissões brutas totais do país para o mesmo ano, quando foram emitidas 2,4 GtCO₂e.

A maior parcela das emissões é proveniente do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas, que contabiliza o desmatamento, respondendo por 56,3% (1 GtCO₂e) das emissões nacionais por sistemas alimentares. Logo em seguida, com 33,7% de participação, o setor de Agropecuária aparece como o segundo maior emissor, totalizando 600,8 MtCO₂e emitidas em 2021 provenientes da produção de alimentos. Assim, somente esses dois setores corresponderam por 90% das emissões por sistemas alimentares.

Em seguida, vem Energia, respondendo por 5,6% das emissões alocadas nos Sistemas alimentares, com a emissão total de 100,1 MtCO₂e. O setor de Resíduos responde pela parcela de 4,2% das emissões alocadas nos sistemas alimentares.

Por fim, o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos foi o que menos teve suas emissões associadas ao conjunto dos sistemas alimentares, suas emissões foram de 4,0 MtCO₂e, sendo menos de 1% das emissões totais associadas ao objeto deste estudo.



Quando se aplica um recorte por cadeia produtiva, em função da dimensão do rebanho bovino nacional e das áreas de pastagem, tem-se que a produção de carne bovina é a que mais contribuiu para as emissões alocadas nos sistemas alimentares em 2021, com um total de 1,4 GtCO₂e o que corresponde a 78% das emissões estimadas.

Como observado na série histórica de emissões totais, a alocação de emissões para o sistema alimentar também mostra que o desmatamento é responsável por elevar em grande parte as emissões. Esse resultado reforça a urgência da implementação efetiva das ações públicas e privadas para eliminação do desmatamento em todos os biomas e cadeias produtivas brasileiros. No momento em que os grandes planos de combate ao desmatamento, PPCDAm e PP Cerrado, foram restituídos e revisados pelo atual governo, torna-se fundamental acelerar a implementação, por exemplo, da rastreabilidade, conjuntamente com os planos de descarbonização da agropecuária.

Para mudar esse cenário é preciso que as tecnologias da agropecuária de baixas emissões sejam transferidas em escala. Outras estimativas mostram o potencial de remoções de sistemas produtivos manejados de forma adequada e de acordo com a melhor ciência nacional já disponível. Por exemplo, em 2021, os solos brasileiros que possuem alguma prática considerada conservacionista, como a aplicação de plantio direto, recuperação de pastagens com níveis de degradação e implementação de sistemas integrados, como ILPF, foram responsáveis pela remoção de 370,8 MtCO₂e.

Essas remoções provenientes da disseminação e do emprego de práticas e tecnologias ABC (Agropecuária de Baixa Emissão de Carbono), em conjunto com a eliminação do desmatamento, desempenham função fundamental na busca por cumprir as metas climáticas brasileiras, assim como para guiar o setor cada vez mais na direção de uma produção de baixas emissões, de forma que os diferentes sistemas produtivos sejam capazes de estocar carbono e emitir cada vez menos gases de efeito estufa. Diversas tecnologias e soluções já foram apontadas por outros estudos do SEEG demonstrando que com investimento e escala, é possível reverter o cenário atual.



Summary

Food systems account for 21% to 37% of global greenhouse gas (GHG) emissions. Between 1990 and 2019, emissions from these systems increased by about 16% (FAO, 2021; IPCC, 2019). In 2019, global anthropogenic GHG emissions were 54 GtCO₂e (GWP-AR5), of which about 70% came from fossil fuels. The share of food systems in global emissions was 31%, emitting 16.5 GtCO₂e, noting that these are systems that cross multiple sectors. The trend is of increasing emissions due to expected future food demand (COSTA et al., 2022; TUBIELLO et al., 2022; FAO, 2021).

The scope of emissions from food systems includes land use changes that result in emissions generated by the conversion of land use for agricultural purposes, the production phase (within farm gate), as well as pre and post-production, where processes and products are used, including transportation, processing, inputs, manufacturing, consumption, and waste generated by the end consumer (FAO, 2021).

This study aims to increase understanding of food systems in Brazil by examining their implications for greenhouse gas emissions. This is the first exercise in estimating greenhouse gas emissions for the entire food system for the country. Emissions were allocated to the food systems based on estimates already made by SEEG.

The study shows that in 2021, emissions from Brazil's food systems amounted to 1.8 billion tons of carbon dioxide equivalent (GtCO₂e), or 73.7% of the country's total gross emissions for the same year, when 2.4 GtCO₂e were emitted.

The largest portion of emissions comes from the Land Use Change and Forestry sector, which accounts for deforestation, representing 56.3% (1 GtCO₂e) of national emissions from food systems. With a 33.7% share, the Agriculture sector appears as the second-largest emitter, totaling 600.8 MtCO₂e emitted in 2021 from food production. Together, these two sectors accounted for 90% of emissions from food systems.

Then comes the Energy sector, accounting for 5.6% of the emissions allocated to food systems, with total emissions of 100.1 MtCO₂e. The Waste sector accounted for 4.2% of the emissions allocated to food systems.

Lastly, the Industrial Processes and Product Use sector had the smallest portion of emissions associated with the set of food systems, emitting 4.0 MtCO₂e, less than 1% of their total emissions.

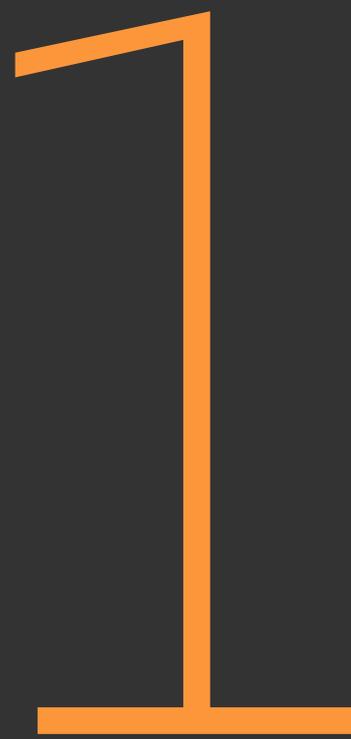
When focusing on the production chains, due to the size of the country's cattle herd and pasture areas, beef production contributed the largest emissions allocated to food systems in 2021, with a total of 1.4 GtCO₂e, representing 78% of the allocated emissions.

As observed in the emissions historical series, when allocating emissions to the food system, deforestation is also shown to be responsible for largely increasing emissions. This result underscores the urgency of effectively implementing public and private actions to eliminate deforestation in all Brazilian biomes and production chains. As the major anti-deforestation plans, PPCDAm and PP Cerrado, were reinstated and revised by the current government, it becomes essential to accelerate implementation, for example, of traceability, along with decarbonization plans for agriculture.



To change this scenario, low-emission agriculture technologies must be scaled up. Other estimates show the potential for removals from production systems managed properly and in line with the best national science available. For example, in 2021, Brazilian soils that employ some conservationist practices, such as direct planting, degraded pasture recovery, and the implementation of integrated systems, were responsible for the removal of 370.8 MtCO₂e.

These removals, resulting from the dissemination and use of low carbon agriculture practices and technologies, combined with the elimination of deforestation, play a crucial role in achieving Brazilian climate goals and guiding the sector towards lower emissions, allowing different production systems to store carbon and emit fewer greenhouse gases. Various technologies and solutions have been highlighted by other SEEG studies, showing that, with investment and scale, the current scenario can be reversed.



Introdução



As mudanças climáticas já ameaçam a segurança alimentar, através do aumento de temperaturas, alterações do regime de precipitações e do aumento de eventos climáticos extremos (IPCC, 2019). Devido aos efeitos da crise do clima, mais de 3 bilhões de pessoas se encontram em algum contexto caracterizado por alta vulnerabilidade, com destaque para a exposição aos riscos da insegurança alimentar, catalisado pelo aumento da frequência dos eventos climáticos extremos. Os riscos incluem também variáveis socioeconômicas, como a disponibilidade e acesso aos alimentos, parcelas da população sujeitas à fome, à variação dos preços dos alimentos, assim como a saúde e qualidade de vida atrelada ao suprimento da demanda alimentar (IPCC, 2023).

Assim, para se analisar a produção de alimentos sobre a perspectiva ambiental, social e econômica, compreender as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) antrópicas através da abordagem de Sistemas Alimentares possibilita identificar quais ações podem promover mitigação de emissões e adaptação dos sistemas produtivos de alimentos ao longo de todos os seus elos, atendendo a demanda atual e futura por alimentos, assim como fortalecendo a segurança alimentar em diferentes escalas e locais (COSTA et al., 2022; VON BRAUN et al., 2021).

A abordagem por sistemas alimentares engloba todos os atores, atividades e etapas interligadas de produção, transporte, processamento, embalagem, armazenamento, varejo, consumo, perdas e desperdícios de alimentos, assim como suas variáveis e dinâmicas sociais, ambientais, econômicas, de infraestrutura, tecnologia, dados e inovação (INGRAM et al., 2011; ERICKSEN et al., 2008). Os sistemas alimentares também existem em diferentes escalas, podendo ser de abrangência global, regional e local, juntamente com a característica de serem diversos e serem representativos das condicionantes locais que modelam o seu funcionamento (VON BRAUN et al., 2021). Essa abordagem possibilita compreender como os alimentos chegam até os consumidores por meio de suas cadeias de abastecimento, sendo que cada uma das etapas de suas cadeias implica na utilização de diferentes recursos humanos, naturais e produzidos, demonstrando a interdependência que existe entre esses diferentes elos (CEBDS, 2022).

A definição de sistemas alimentares implica em delimitar e incluir elementos em sua análise, de modo que as conexões permitam a compreensão do escopo. Essa abordagem integrada é necessária pelo fato de esses elementos estarem sempre em mudança e adaptação, com reflexos na relação que estabelecem entre si. O exemplo disso é quando essa abordagem possibilita considerar que o Sistema Alimentar em análise é considerado sustentável, ao conseguir contribuir com a segurança alimentar e nutricional, de modo que os fatores econômicos, sociais, culturais e ambientais envolvidos conseguem garantir seu contínuo funcionamento presente e futuro, baseados nos princípios de segurança, disponibilidade, diversidade e inclusão (VON BRAUN et al., 2021). A figura 1 mostra como os sistemas alimentares interagem com os demais sistemas.

O escopo das emissões provenientes dos Sistemas Alimentares considera as atividades desenvolvidas ao longo de todas as suas cadeias envolvendo as etapas associadas às mudanças de uso da terra que resultam nas emissões geradas pela conversão de uso da terra para usos agropecuários, pela etapa de produção (dentro das porteiras), assim como pela pré e pós-produção, em que processos e produtos são empregados, incluindo o transporte, processamento, insumos, fabricação, consumo e resíduos gerados pelo último elo que é o consumidor final (FAO, 2021).

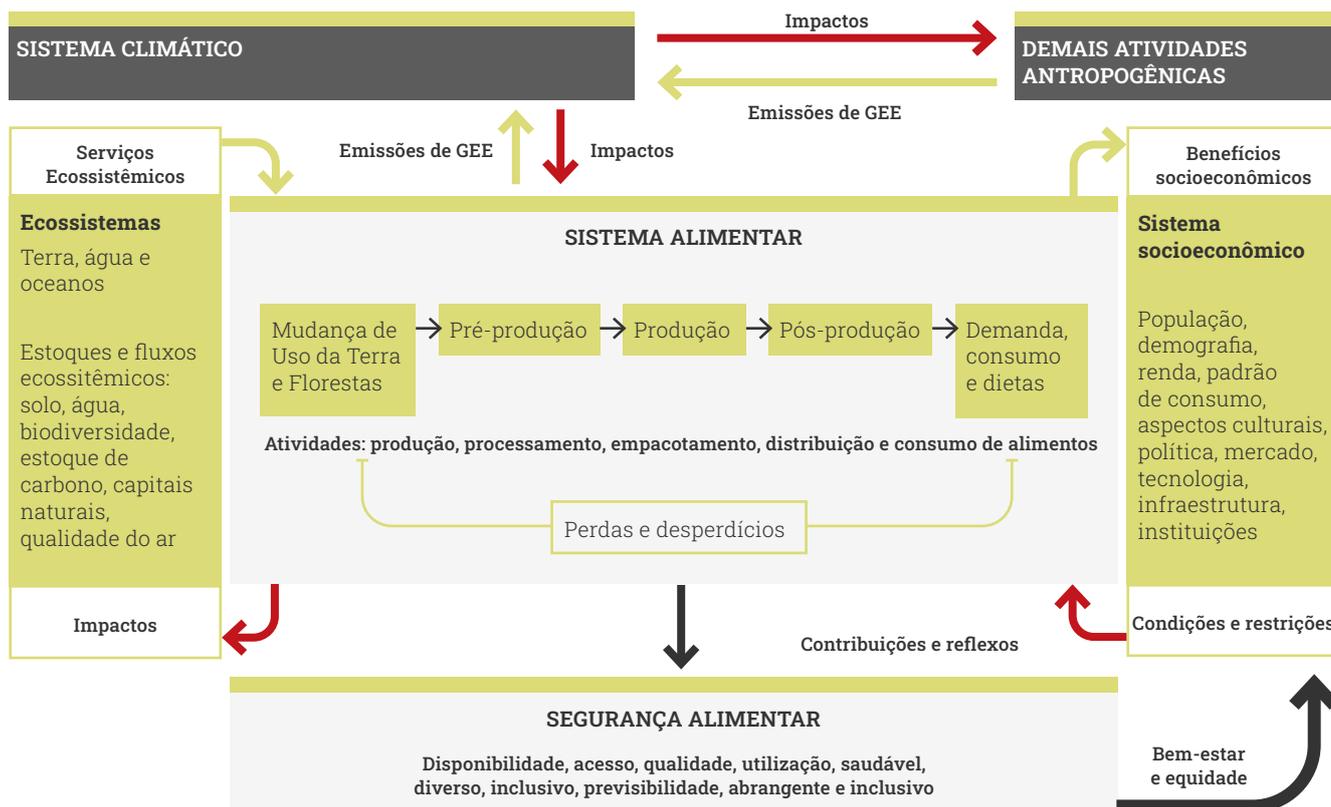


Figura 1.

Sistemas Alimentares e suas relações com demais sistemas. Adaptado de IPCC (2019) e Ericksen et al. (2008).

O escopo das emissões provenientes dos Sistemas Alimentares considera as atividades desenvolvidas ao longo de todas as suas cadeias envolvendo as etapas associadas às mudanças de uso da terra que resultam na conversão para usos agropecuários, pela etapa de produção (dentro das porteiras), assim como pela pré e pós-produção, em que processos e produtos são empregados, incluindo transporte, processamento, insumos, fabricação, consumo e resíduos gerados pelo último elo, que é o consumidor final (FAO, 2021).

Os sistemas alimentares representam algo entre 21% e 37% das emissões totais mundiais de gases de efeito estufa, sendo que entre 1990 e 2019, as suas emissões aumentaram cerca de 16% (FAO, 2021; IPCC, 2019). Em 2019, a emissão antropogênica mundial foi de 54 GtCO₂e (GWP-AR5), da qual cerca de 70% foi proveniente dos combustíveis fósseis. Já a participação dos sistemas alimentares nas emissões globais foi de 31%, com a emissão de 16,5 GtCO₂e, lembrando que estes são sistemas transversais a diversos setores. A tendência é de aumento das emissões devido à expectativa de demanda futura de alimentos (COSTA et al., 2022; TUBIELLO et al., 2022; FAO, 2021).



Participação dos sistemas alimentares nas emissões globais em 2021

Do total global dos sistemas alimentares emitido em 2019, cerca de 7,2 GtCO₂e (44%) foram provenientes das atividades desenvolvidas dentro das propriedades agropecuárias, considerando as atividades relacionadas com a produção agrícola e pecuária. A segunda maior parcela das emissões vem das atividades que envolvem os processos de pós e pré-produção, sendo emitido o total de 5,8 GtCO₂e (35%), contabilizando as emissões como a da fabricação de fertilizantes, processamento de alimentos, as embalagens, transporte, varejo e o que ocorre quando chega no elo final de sua cadeia, como o consumo doméstico e o descarte dos seus resíduos gerados. Por último, a emissão de 3,5 GtCO₂e (21%) foi gerada pelas mudanças

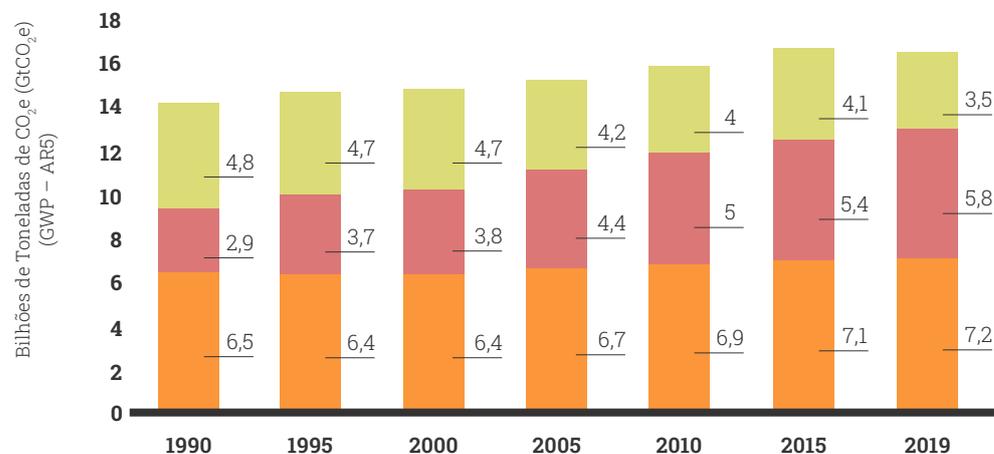


de uso do solo, marcadas principalmente por desmatamento e degradação dos ecossistemas (TUBIELLO et al., 2022; FAO, 2021). A figura 2 traz as emissões dos sistemas alimentares mundiais entre 1990 e 2019.

Figura 2.

Emissões de gases de efeito estufa dos Sistemas Alimentares mundial de 1990 a 2019 (GtCO₂e). Adaptado de FAO (2021).

- Produção
- Pré e Pós-Produção
- MUT



Os valores apresentados acima correspondem a uma totalização global, a qual conta com diversificadas características e realidades. Portanto, compreender o perfil de emissões atribuídas aos sistemas alimentares em um nível local, possibilita que sejam tomadas medidas que viabilizem a produção de alimentos mais sustentável alinhada com a demanda futura, junto com a mitigação de suas emissões de gases de efeito estufa, visto que a produção global de alimentos está estimada em aumentar em aproximadamente 50% para atender a demanda mundial projetada até 2050, em relação ao ano de 2013 (FAO, 2017). Esse reflexo poderá ser notado nas emissões dos Sistemas Alimentares, que podem resultar em um aumento de 80%, considerando o período de 2010 até 2050 (COSTA et al., 2022).

Emissões brutas do Brasil por mudança de uso da terra em 2021



O Brasil, em 2019, ocupava a terceira posição no ranking mundial dos países que mais emitem por sistemas alimentares, atrás da China e Índia e na frente dos EUA e da Indonésia. Enquanto nos EUA, China e Índia, a maior parte das emissões são provenientes das atividades agropecuárias e das cadeias pré e pós-produção, no Brasil a maior parte das emissões é devida ao desmatamento (FAO, 2021).

Esse impacto do desmatamento nas emissões do Brasil fica evidente quando se analisa as emissões mais recentes do país. Em 2021, cerca de 49% das emissões nacionais estiveram atreladas à mudança de uso da terra (MUT), correspondendo a aproximadamente 1,15 GtCO₂e dos 2,4 GtCO₂e emitidos, sobretudo na Amazônia (SEEG, 2023).

1.1

Objetivo

O objetivo principal do estudo foi estimar as emissões dos sistemas alimentares no Brasil por meio de um exercício de alocação de emissões e dados de remoção disponíveis no SEEG. Um segundo objetivo foi entender o comportamento das emissões com um recorte de cadeia produtiva, sendo a cadeia escolhida a cadeia da carne bovina devido à sua dimensão e sua importância na cesta de alimentos do Brasil.



Metodologia



As emissões dos sistemas alimentares foram mensuradas e alocadas a partir das estimativas já realizadas pelo SEEG, com base na 10ª coleção, com dados atualizados até 2021. Todos cálculos das estimativas feitas seguem as metodologias dos Inventários Nacionais para os setores de Mudança de Uso de Terra e Florestas, Agropecuária, Energia, Resíduos e Processos Industriais e Uso de Produtos.

Para cada um dos setores foram estimados os gases de efeito estufa identificados e associados às emissões por sistemas alimentares, sendo que os valores apresentados foram expressos de acordo com a métrica de conversão de potencial de aquecimento global AR5 (acrônimo em inglês, GWP – *Global Warming Potential*) de cada gás (IPCC, 2014).

Uma das principais ações foi identificar as alocações possíveis de realizar com base nas fontes e atividades emissoras de cada setor, assim como o cálculo de novas estimativas, quando necessário. As alocações das emissões estimadas por cada setor tomaram prioritariamente como base a metodologia apresentada pela FAO (2021) e por Tubiello et al. (2022), buscando, conforme o contexto brasileiro, identificar, categorizar e incluir emissões de acordo com as etapas de MUT (mudança de uso da terra), pré-produção, produção e pós-produção dos Sistemas Alimentares, sem discriminar os diversos tipos de dietas e modos de produção de alimentos existentes. A tabela 1 e a figura 3 trazem o que foi considerado de cada setor referente ao conjunto dos Sistemas Alimentares do país.

Tabela 1.

Emissões categorizadas pelo SEEG e sua classificação para o conjunto de Sistemas Alimentares do Brasil.¹

Setor	Atividades Emissoras	Etapa Produtiva		Abordagem
Mudança de Uso da Terra e Florestas (1990-2021)	Alteração de uso da terra	Mudança de Uso da Terra		Sistemas Alimentares (2021)
	Queima de resíduos da vegetação nativa			
	Carbono orgânico no solo			
Agropecuária (1990-2021)	Fermentação Entérica	Produção (dentro da porteira)	Uso da Terra	
	Manejo de dejetos animais			
	Queima de resíduos agrícolas			
	Cultivo de arroz			
	Solos manejados			
Queima de combustíveis (agropecuária)				
Energia (2021)	Fertilizantes e agroquímicos	Processos Pré e Pós-Produtivos		
	Processamento industrial de alimentos			
	Embalagens			
	Transporte e distribuição			
	Comercialização			
	Uso doméstico			

¹ Os anos indicados entre parênteses para cada setor de emissão do SEEG correspondem aos anos para os quais foi realizado, neste estudo, o exercício de alocação das emissões no conjunto de Sistemas Alimentares.

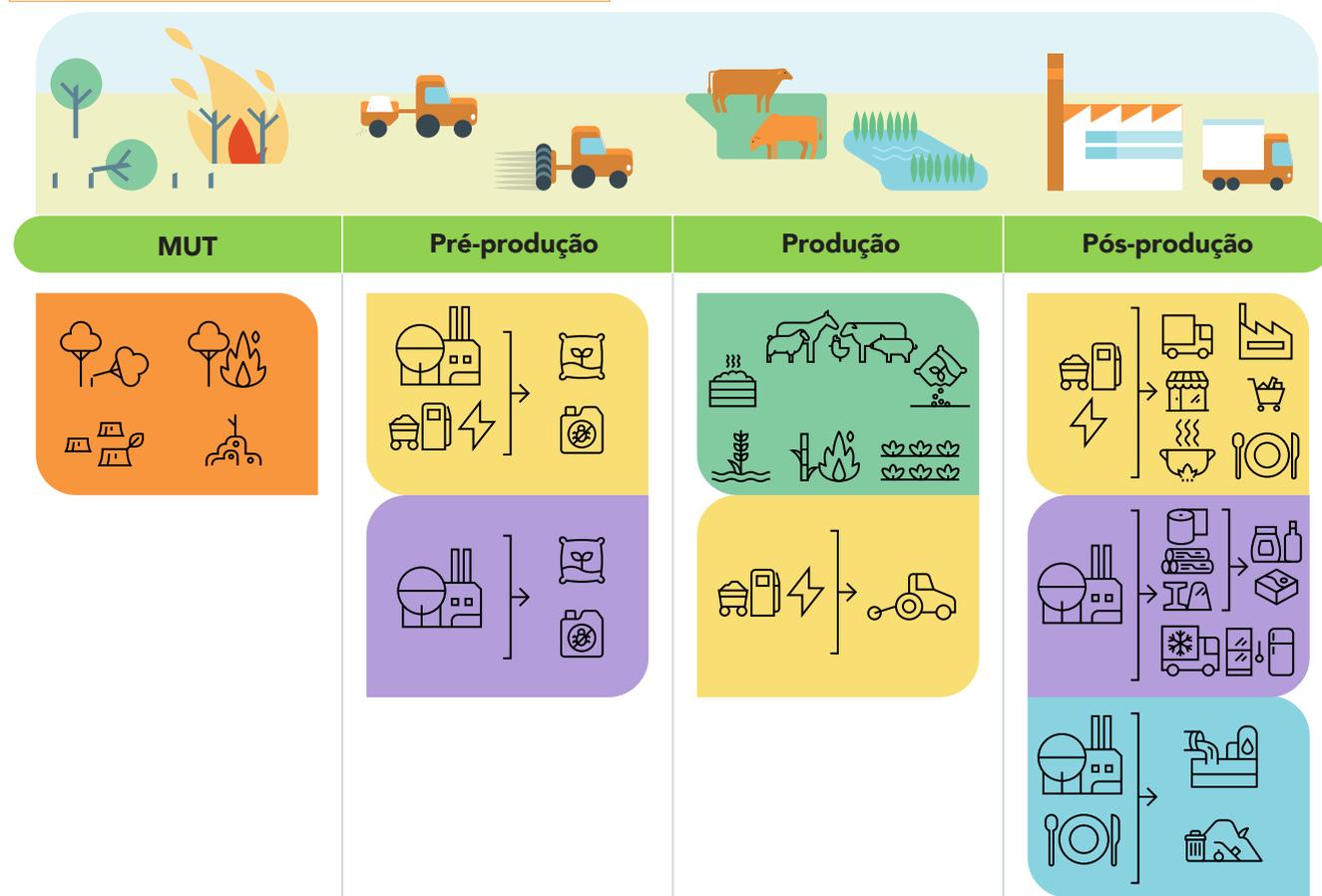


Setor	Atividades Emissoras	Etapa Produtiva	Abordagem
Processos Industriais e Uso de Produtos (2021)	Fertilizantes e agroquímicos	Processos Pré e Pós-Produtivos	Sistemas Alimentares (2021)
	Embalagens		
	Refrigeração doméstica, comercial e nos Transportes (HFCs)		
Resíduos (1990-2021)	Tratamento de efluentes líquidos industriais (produção de alimentos e bebidas)		
	Tratamento de efluentes líquidos domésticos		
	Disposição final de resíduos alimentares		

Adaptado de TUBIELLO et al. (2022); FAO (2021).

Figura 3.

Atividades emissoras de cada setor e etapa produtiva dos Sistemas Alimentares do Brasil. Elaboração própria.



- Mudança de Uso da Terra e Florestas**
- Alterações no uso do solo
 - Queima de resíduos da vegetação nativa
 - Carbono orgânico do solo

- Agropecuária**
- Fermentação entérica
 - Manejo de dejetos de animais
 - Queima de resíduos agrícolas
 - Cultivo de arroz irrigado
 - Solos manejados

- Energia**
- Fertilizantes e agroquímicos
 - Processamento industrial de alimentos
 - Transporte e distribuição
 - Comercialização
 - Uso doméstico

- Processos Industriais e Uso de Produtos**
- Fertilizantes e Agroquímicos
 - Embalagens
 - Refrigeração doméstica, comercial e nos transportes (HFC)

- Resíduos**
- Tratamento de efluentes líquidos industriais (produção de alimentos e bebidas)
 - Tratamento de efluentes domésticos
 - Disposição final de resíduos alimentares



Ao final, foi possível totalizar as emissões dos sistemas alimentares do Brasil para o ano de 2021, com emissões alocadas para todos os cinco setores emissores da economia. Para os setores de Mudança de Uso de Terra e Florestas, Agropecuária e Resíduos, pode-se compor uma série histórica de 1990 até 2021, enquanto para os setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos somente para o ano de 2021 foram alocadas as emissões em sistemas alimentares.

Além disso, como um segundo recorte, realizou-se a estimativa das emissões de GEE da cadeia da carne bovina, com a alocação das emissões provenientes de cada setor envolvido com sua produção no país.

Os valores obtidos de emissões de GEE para os diversos produtos alimentares e demais materiais e recursos demandados pela produção de alimentos no país não são comparáveis aos valores obtidos com metodologias de Análise de Ciclo de Vida (ACV). Esses valores estimados pelo SEEG são alocações feitas para o conjunto de sistemas alimentares no Brasil com base no inventário anual de emissões, de acordo com uma caracterização “top-down” de cada setor, à semelhança das metodologias apresentadas pela FAO.

A seguir serão apresentados os detalhes metodológicos utilizados para cada um dos setores avaliados neste estudo.

2.1

Mudança de Uso da Terra e Florestas

O cálculo das emissões relacionadas com sistemas alimentares no setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas (MUT) se baseou no método do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2020a) e no mapeamento anual de cobertura e uso da terra do MapBiomas, Coleção 7.1 (disponível em <https://brasil.mapbiomas.org/>).

No setor, foram identificados três processos relacionados às emissões de sistemas alimentares: (1) a conversão de uso e cobertura da terra; (2) a queimadas dos resíduos da vegetação, relacionados ao processo do desmatamento; e (3) as emissões de carbono orgânico do solo, após a conversão para áreas agrícolas ou pastagem (figura 4). No primeiro processo está incluída a conversão de vegetação nativa para áreas agrícolas ou de pastagem (desmatamento), e a conversão entre diferentes usos da terra posteriores. Em alguns casos, essa conversão gera remoções (sequestro) de carbono ao invés de emissões e os resultados são, portanto, discutidos em termos de emissões líquidas.



CONVERSÕES DE USO DA TERRA

Alterações de Uso da Terra (CO_2) 

Queima de Resíduos da Vegetação Nativa (CH_4 e N_2O) 

Alterações no Estoque de Carbono Orgânico no Solo (CO_2) 

Figura 4.

Fontes de emissões de GEE do setor Mudança de Uso da Terra e Florestas com relação aos Sistemas Agroalimentares.

Os três processos puderam ser quantificados com o mesmo dado-base para o setor MUT nas coleções do SEEG, pois o dado de atividade necessário para essas estimativas são as transições de vegetação nativa para classes de cultivos agrícolas ou pastagem e entre classes de uso da terra, já utilizado para o cálculo das emissões no setor. Para o presente exercício, foram calculadas as emissões relacionadas a esses processos com base no próprio método do SEEG (2021).

O mapeamento do MapBiomas discrimina as classes de cultivos agrícolas específicos (soja, cana-de-açúcar, algodão, arroz, café e citros) e inespecíficos (outras lavouras temporárias e outras lavouras perenes), além da classe de pastagem. A única diferença entre o método proposto aqui e o método atualmente aplicado pelo SEEG foi de preservar a distinção entre as classes, que nas coleções do SEEG são lançadas como uma categoria única, "Uso Agropecuário".

Adicionalmente, assumimos duas premissas para o cálculo das emissões líquidas associadas às cadeias da cana-de-açúcar e da soja:

1. Para o cálculo das emissões relacionadas à produção de açúcar, aplicamos sobre as emissões totais resultantes das transições para a classe de cana (classe 20 no MapBiomas) a proporção de 58,86%, com base na estimativa do Observatório da Cana e Bioenergia da UNICA (<https://unicadata.com.br/>) da produção de cana-de-açúcar que é direcionada a produtos alimentícios (em oposição à produção de etanol).
2. Para o cálculo das emissões relacionadas à produção de soja, consideramos uma premissa relacionada à dinâmica de uso da terra que é destinada à produção de soja. Observa-se que muitas áreas naturais convertidas com o objetivo de cultivo de soja passam por uma fase inicial de classe de pastagem, como forma de consolidar o uso da área recém aberta. Essa fase inicial tem sido observada em Mato



Grosso, uma região de fronteira agrícola relativamente mais consolidada, como tendo duração de até cinco anos (FBOM 2011). Dessa forma, consideramos uma janela de cinco anos após o desmatamento para direcionar se aquela emissão resultante do desmatamento está relacionada à cadeia da soja em detrimento à cadeia da carne. Nos últimos cinco anos da série (2017 a 2021), pela impossibilidade de avaliação dos anos seguintes conforme a regra do filtro temporal, aplicamos a proporção entre emissões indiretas e diretas da soja observada nos cinco anos anteriores (2011 a 2016), de 45%. Para avaliação da relevância dessa dinâmica no padrão dos sistemas alimentares, mantivemos a distinção entre as transições diretas e indiretas para o cultivo da soja no dado final.

As emissões e remoções relacionadas aos três processos do setor MUT foram calculadas para todo o período analisado no SEEG 10 (1990 a 2021) e estão reportadas, no presente exercício, a nível nacional, de bioma, estadual e municipal.

2.1.1

Emissões do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas relacionadas a cadeia da carne bovina

O método específico para a cadeia da carne bovina, no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, é o mesmo já apresentado anteriormente (seção 3.1), pois o dado de atividade do setor são as áreas de transição específicas para cultivos agrícolas e pastagem. Vale lembrar que foram descontadas das transições para pastagem a área de desmatamento (e as consequentes emissões) para pastagem que foram convertidas para soja em até cinco anos após o corte raso.

2.2

Agropecuária

A metodologia empregada para o setor de Agropecuária para o cálculo das suas emissões relacionadas com os sistemas alimentares é baseada na mesma metodologia desenvolvida pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de efeito estufa (MCTI, 2020b), a qual utiliza as bases metodológicas e diretrizes para inventários nacionais desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

Para as emissões dos sistemas alimentares utilizou-se a totalidade das emissões do setor Agropecuário (FAO, 2021; TUBIELLO et al., 2021). Essa forma de contabilização considerou que parte das emissões decorrentes da produção agropecuária que resultam em demais produtos além de alimentos para consumo humano, como os alimentos para a produção animal, fibras, bioenergia e demais commodities, de alguma forma são destinados e retornam para a própria produção de alimentos. Dessa forma, todas as emissões do setor foram associadas aos sistemas alimentares.

As emissões de gases de efeito estufa contabilizadas pelo setor de agropecuária resultam de todas as atividades e fontes emissoras relacionadas com a produção pecuária e agrícola do país. Essas emissões foram estimadas de acordo com os cálculos previstos para os subsetores de i) Fermentação Entérica (MCTI, 2020c), com emissões provenientes da digestão realizada pelos rebanhos de animais ruminantes; ii) Manejo de Dejetos Animais (MCTI, 2020d), resultante do tratamento



e disposição que os dejetos animais recebem; iii) Cultivo de Arroz (MCTI, 2020e), referente ao cultivo de arroz sobre o regime irrigado; iv) Queima de Resíduos Agrícolas (MCTI, 2020f), referente à queima dos resíduos do cultivo de cana-de-açúcar e algodão, e por último; v) Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia (MCTI, 2020g), que considera o incremento de nitrogênio via utilização de insumos e forma de manejo.

A forma como os cálculos foram realizados estão contidos na Nota Metodológica do Setor de Agropecuária. A tabela 2, abaixo, aborda o que é contabilizado como emissões para o setor.

Tabela 2.

Emissões de GEE do setor Agropecuário para a abordagem sobre Sistemas Alimentares.

Subsetor Emissor	Processos e atividades emissoras de Sistemas Alimentares	Gases de Efeito Estufa (GEE)				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NOx	CO
Fermentação Entérica	Emissões pelo rebanho animal ruminante da produção pecuária					
Manejo de Dejetos Animais	Emissões diretas e indiretas pelo tratamento, armazenamento e disposição dos dejetos animais gerados pela produção agropecuária					
Solos Manejados	Emissões diretas e indiretas de nitrogênio por deposição atmosférica e lixiviação/escorrimento superficial pelo uso de insumos e forma de manejo de solos agrícolas por meio de: <ul style="list-style-type: none"> ○ Uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados; ○ Aplicação de resíduos orgânicos como adubos; ○ Deposição de dejetos em pastagens; ○ Decomposição de resíduos agrícolas; ○ Solos orgânicos; ○ Mineralização de nitrogênio associada a perda de carbono pelo solo. Juntamente com as emissões de dióxido de carbono pela calagem a aplicação de ureia					
Cultivo de Arroz	Emissões pelo cultivo de arroz irrigado continuamente e com regime de irrigação intermitente					
Queima de Resíduos Agrícolas	Emissões pela queima dos resíduos agrícolas de cana-de-açúcar e algodão					

Para a análise focada em obter a estimativa das emissões de GEE da produção de carne bovina pelo setor Agropecuário, parte das emissões provenientes da produção animal já se encontram mensuradas e disponíveis pelo nível de fonte de gado de corte.



Além das emissões referentes ao rebanho de gado de corte, também foi feito o exercício de realizar a alocação das demais emissões que são associadas à produção de carne bovina no nível de propriedade agropecuária e que não são de origem animal, como as emissões provenientes do componente vegetal da produção animal e de insumos agrícolas. Emissões do setor de Agropecuária relacionadas à cadeia da carne bovina

2.2.1

Emissões do setor de Agropecuária relacionadas a cadeia da carne bovina

As emissões alocadas especificamente para a atividade produção de carne bovina foram as provenientes da decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens (N_2O), do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (N_2O) e da realização de calagem e aplicação ureia (CO_2), sendo que todas foram estimadas de acordo com seu uso em pastagens destinadas para a produção animal de gado de corte.

A inclusão de parte dessas emissões presente na etapa de produção de carne bovina dentro da porteira das propriedades agropecuárias baseou-se nas diretrizes do GHG Protocol Agrícola Brasileiro, com a finalidade de se compreender quais são as emissões do setor agropecuário que poderiam ser estimadas e alocadas para essa etapa da cadeia produtiva (WRI, 2014).

Outras fontes de emissões e remoções também foram identificadas e que ocorrem pela atividade da bovinocultura de corte, como as remoções de carbono geradas pelas pastagens em processo de recuperação e bem manejadas, assim como as emissões provenientes das pastagens degradadas e do uso de gesso agrícola. Essas fontes de emissões não são atualmente contabilizadas pela metodologia de cálculo do setor no atual inventário nacional, portanto não foram contabilizadas para esse primeiro exercício feito para a cadeia da carne bovina (MCTI, 2020b; WRI, 2014). Além disso, as fontes de emissão como a queima dos combustíveis (CO_2 , CH_4 e N_2O), energia elétrica (CO_2) e mudanças de uso e manejo da terra (CO_2 , CH_4 e N_2O), foram analisadas nas etapas dos demais setores.

A partir dos dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), pôde-se obter a quantidade de uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos em pastagens para produção de carne bovina, sendo estimada a partir dos dados sobre a quantidade de consumo de fertilizantes por área cultivada no país. Para obter a quantidade de nitrogênio associada ao uso da quantidade anual de fertilizantes, utilizou-se a porcentagem média de nitrogênio da composição dos fertilizantes sintéticos disponíveis no país, aplicada sobre a quantidade total de fertilizantes utilizados em pastagens anualmente, sendo possível obter uma série histórica da quantidade de fertilizantes sintéticos nitrogenados aplicados em pastagens entre 1990 e 2021.

Depois de estimada a quantidade em toneladas, foi possível calcular a parcela dessa quantidade de nitrogênio que corresponde à aplicação de ureia, seguindo a mesma metodologia do 4º Inventário Nacional, o qual estima que cerca de 54,6% do fertilizante sintético nitrogenado é proveniente da aplicação de ureia, enquanto os 45,4% restantes são derivados dos demais outros tipo de fertilizantes nitrogenados (MCTI, 2020g).

Os dados sobre a quantidade de calcário (dolomítico) utilizado em pastagens destinadas para a produção animal foram obtidos por meio de consultas com a



Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (ABRACAL), a qual traz os dados de consumo aparente de calcário para o país (ABRACAL, 2022). Apesar de não haver dados específicos sobre a quantidade de calcário aplicado em pastagens para produção de gado de corte no país, através de consulta com a ABRACAL estima-se que cerca de 10% da quantidade de calcário total empregado pelo setor agropecuário acaba sendo destinado para esse uso. Assim, o valor de 10% em relação à quantidade total de calcário consumida foi adotado para estimar as emissões da calagem feita para as pastagens para produção de bovinos de corte.

Para as emissões provenientes da decomposição de resíduos agrícolas das pastagens, sua alocação foi feita considerando que cerca de 95% das pastagens no país são destinadas para a produção de carne bovina (EMBRAPA, 2022). A tabela 3 aborda quais fontes e atividades emissoras foram contabilizadas para a produção de carne bovina pelo setor de agropecuária.

Tabela 3.

Emissões de GEE do setor Agropecuário para a produção de carne bovina.

Subsetor Emissor	Processos e atividades emissoras da produção de carne bovina pelo setor agropecuário	Gases de Efeito Estufa (GEE)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fermentação Entérica	Emissões pelo rebanho de gado de corte			
Manejo de Dejetos Animais	Emissões diretas e indiretas pelo tratamento, armazenamento e disposição dos dejetos animais gerados pelo rebanho de gado de corte			
Solos Manejados	<p>Emissões diretas e indiretas de nitrogênio por deposição atmosférica e lixiviação/escorrimento superficial pelo uso de insumos e forma de manejo de solos agrícolas por meio de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados utilizados em pastagens para produção de carne bovina; ○ Aplicação de resíduos orgânicos como adubos pelo rebanho de gado de corte; ○ Deposição de dejetos em pastagens pelo rebanho de gado de corte; ○ Decomposição de resíduos agrícolas de pastagens para a produção de carne bovina. <p>Juntamente com as emissões de dióxido de carbono pela calagem a aplicação de ureia feitas em pastagens para produção de carne bovina</p>			

Ressalta-se a dificuldade em obter dados de atividade específicos para as emissões que foram alocadas para a etapa de produção de carne bovina dentro do setor agropecuário. Enquanto os dados sobre o rebanho bovino no nível municipal e estadual se encontram disponíveis e atualizados anualmente (IBGE, 2022), parte das estimativas referentes às demais fontes de emissões vegetais e pelos uso de insumos foram baseados em premissas, o que pode não ser a melhor representação da realidade da produção nacional, mas viabiliza obter uma primeira estimativa dessas emissões e compreender as magnitudes dessas emissões para essa cadeia produtiva.



2.3

Energia e Processos Industriais (PIUP)

2.3.1

Energia

No setor de Energia são contabilizadas as emissões provenientes do consumo ou da produção de combustíveis e de eletricidade. A maior parte dessas emissões acontece a partir da queima de combustíveis, como óleo diesel em caminhões ou gás natural em usinas termelétricas. No entanto, também ocorrem as chamadas emissões fugitivas, que se referem aos gases de efeito estufa (GEE) emitidos tanto acidentalmente quanto intencionalmente durante a produção de combustíveis, devido à extração, ao processamento, ao armazenamento ou ao transporte de fontes energéticas.

Nesse setor, emissões relacionadas a sistemas alimentares podem ocorrer durante as etapas de pré-produção, produção ou pós-produção de alimentos. Vale frisar que, aqui, entende-se por “produção” o cultivo agrícola ou a criação animal em propriedades agropecuárias - estágio que também pode ser descrito pela expressão “dentro da fazenda”. Nesse sentido, a denominação “pré-produção” (ou “antes da fazenda”) faz referência a processos que ocorrem de forma anterior ao início efetivo da produção. De modo análogo, o termo “pós-produção” contempla atividades que ainda ocorrem “depois da fazenda”, até que o alimento chegue ao prato.

Assim, em cada uma dessas três etapas, existem atividades que dependem da queima de combustíveis ou do uso de eletricidade. Tais atividades podem ser resumidas em sete blocos, baseados no recorte metodológico apresentado no artigo *“The share of agri-food systems in total greenhouse gas emissions”* (FAO, 2021b): (i) Produção de fertilizantes e agroquímicos; (ii) Consumo de energia em propriedades agropecuárias; (iii) Processamento industrial de alimentos; (iv) Produção de materiais para embalagens alimentares; (v) Transporte e distribuição de alimentos; (vi) Comercialização e consumo público; e (vii) Consumo doméstico de energia para cocção e refrigeração de alimentos. Em todos esses blocos ocorrem emissões diretas de gases de efeito estufa devido à queima de combustíveis, bem como indiretas associadas ao consumo de eletricidade (não acontecem, no entanto, emissões fugitivas).

A figura a seguir sintetiza essa organização de fontes emissoras devido ao consumo de energia em sistemas alimentares, conforme as etapas produtivas e as atividades específicas citadas anteriormente.



Figura 5.

Fontes de emissão de gases de efeito estufa devido ao consumo de energia em sistemas alimentares.

SISTEMAS ALIMENTARES: Emissões dos setores de Energia e PIUP



Algumas das emissões associadas a atividades de sistemas alimentares já são diretamente estimadas por meio da metodologia regular do SEEG, que tem como base as informações de consumo de energia reportadas pelo Balanço Energético Nacional (BEN). Dessa maneira, para atividades de sistemas alimentares que têm seu consumo energético diretamente reportado pelo BEN, como é o caso do “Consumo de energia em propriedades agropecuárias”, as emissões puderam ser retiradas diretamente dos resultados nacionais da décima coleção do SEEG, cobrindo a série histórica de 1970 a 2021.

Para outras atividades específicas, como “transporte e distribuição de alimentos”, não estão disponíveis consumos energéticos correspondentes no BEN nos níveis de desagregação desejados. Logo, não estavam disponíveis tais emissões de forma direta no SEEG. A partir do BEN, no entanto, o SEEG estima emissões relativas a macrogrupos (chamados de subsetores) que agregam valores referentes a diversas atividades, entre elas aquelas relacionadas a sistemas alimentares. Por exemplo, no SEEG existe o subsetor de indústria química, que reúne emissões provenientes da queima de combustíveis em fábricas de produtos químicos. Entre os vários produtos fabricados, há os fertilizantes e os agroquímicos, que estão relacionados a sistemas alimentares, mas que não possuem emissões diretamente especificadas no SEEG.

Para, simplificada, desagregar as emissões desses macrogrupos em atividades referentes a sistemas alimentares, foram utilizados fatores de proporcionalidade, relacionando a grandeza de dados primários relativos a uma atividade específica com a soma dos dados relativos a todas as atividades que compõem um macrogrupo. Assim, por exemplo, as emissões da atividade de “Produção de fertilizantes e agroquímicos” foram determinadas considerando a seguinte premissa: a fração das emissões dessa atividade em relação ao montante de emissões da indústria química é igual à fração do consumo energético da primeira atividade em relação ao consumo de todas as indústrias químicas.

Devido à indisponibilidade de dados que permitam, para todas as atividades e suas séries históricas, determinar fatores anuais para distribuição de emissões gerais em emissões de sistemas alimentares, optou-se por só lançar mão dessas estratégias de alocação para 2021, o ano-base da décima coleção do SEEG.



Todas as estratégias adotadas para a alocação de emissões neste trabalho estão simplificadaamente elencadas na próxima tabela. Também estão evidenciadas as atividades de sistemas alimentares que emitem dentro do setor de Energia, bem como os respectivos macrogrupos/subsetores do SEEG em que se encontram. Maiores detalhes sobre os métodos de alocação serão apresentados nos próximos subtópicos, assim como as referências utilizadas.

Tabela 4.

Correspondências entre subsetores do SEEG Nacional e atividades específicas de sistemas alimentares.

Subsetores emissores	Atividades específicas	Emissões de sistemas alimentares	Etapa da cadeia	Emissões de sistemas alimentares diretamente alocadas na metodologia oficial do SEEG	Descrição simplificada da estratégia de alocação proporcional de emissões em sistemas alimentares brasileiros
Indústria Química	Produção de fertilizantes e agroquímicos	Sim	Pré-produção	Não	Participação do consumo de energia em indústrias de fertilizantes e agroquímicos (Ibama, 2023) em relação ao consumo de energia em toda a indústria química (EPE, 2022)
	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Agropecuário	Consumo de energia em propriedades agropecuárias	Sim	Produção	Sim	Não se aplica
Indústria de Alimentos e Bebidas	Processamento industrial de alimentos	Sim	Pós-produção	Sim	Não se aplica
Indústria de Ferro Gusa e Aço	Produção de materiais para embalagens alimentares	Sim	Pós-produção	Não	Participação da produção física de aço utilizada na fabricação de embalagens alimentares (IABr, 2022b) (World Steel Association) em relação ao total produzido pela indústria (IABr, 2022a)
	Produção de materiais para outros usos	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
"Indústria de Não-ferrosos e Outros da Metalurgia"	Produção de materiais para embalagens alimentares	Sim	Pós-produção	Não	Participação da produção física de alumínio primário utilizada na fabricação de embalagens alimentares (Abal) (Crippa et al., 2021) em relação ao total produzido pela indústria (Abal, 2022)
	Produção de materiais para outros usos	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Indústria de Papel e Celulose	Produção de materiais para embalagens alimentares	Sim	Pós-produção	Não	Participação da produção física de papel utilizada na fabricação de embalagens alimentares (FAO, 2023) (Crippa et al., 2021) em relação ao total produzido pela indústria (FAO, 2023)
	Produção de materiais para outros usos	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Outras Indústrias	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Transportes	Transporte e distribuição de alimentos	Sim	Pós-produção	Não	Participação da atividade de transporte de produtos alimentares (tonelada.kilômetro) em relação à toda atividade de transporte de cargas (EPL, 2018) (EPL, 2021)
	Transporte de outras categorias de produtos ou de passageiros	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica



Subsetores emissores	Atividades específicas	Emissões de sistemas alimentares	Etapa da cadeia	Emissões de sistemas alimentares diretamente alocadas na metodologia oficial do SEEG	Descrição simplificada da estratégia de alocação proporcional de emissões em sistemas alimentares brasileiros
comercial	Consumo de energia para cocção (restaurantes)	Sim	Pós-produção	Sim	Não se aplica
	Consumo de eletricidade (mercados)	Sim	Pós-produção	Não	Participação do consumo total estimado de eletricidade em mercados (Abrás, 2022) (Carrefour, 2022) (Assaí, 2022) (GPA, 2022) em relação ao montante gerado no Brasil (EPE, 2022)
	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Público	Consumo público de energia para cocção em escolas, universidades, serviços de saúde etc.	Sim	Pós-produção	Sim	Não se aplica
	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Residencial	Consumo doméstico de energia para cocção	Sim	Pós-produção	Sim	Não se aplica
	Consumo doméstico de eletricidade para refrigeração	Sim	Pós-produção	Não	Participação do consumo total estimado de eletricidade por geladeiras domiciliares (IBGE, 2016) (Procel) em relação ao montante gerado no Brasil (EPE, 2022)
	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Geração de Eletricidade	Uso de eletricidade em atividades de sistemas alimentares	Sim	Pós-produção	Não	Participação do consumo de eletricidade em diferentes atividades de sistemas alimentares em relação ao montante gerado no Brasil (EPE, 2022)
	Outros usos de eletricidade	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Produção de Combustíveis	Outras	Não	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

(i) Produção de fertilizantes e agroquímicos

De acordo com o guia metodológico publicado pela FAO sobre estimativas de emissões provenientes de sistemas alimentares (FAO, 2021b), na etapa de pré-produção de alimentos são contabilizados os gases de efeito estufa provenientes do uso de energia na produção de fertilizantes e agroquímicos. Essas são relevantes emissões, uma vez que, segundo Franco e Neto (2008), a produção de fertilizantes é responsável por 1,2% de todo consumo mundial de energia. A produção de produtos nitrogenados é a mais intensiva em uso de energia, sendo responsável por 92,5% do consumo energético da indústria global de fertilizantes.



O Brasil importa cerca de 85% dos fertilizantes que utiliza (ANDA, 2022), mas o recorte deste trabalho contempla apenas as emissões que ocorrem dentro do território brasileiro, provenientes da indústria nacional. Para determinar qual parcela das emissões da indústria química nacional se refere à produção de fertilizantes e agroquímicos, foi preciso utilizar fatores de alocação, conforme equação a seguir. Vale lembrar que a indústria química é um subsetor já contabilizado no SEEG Nacional e que contempla, entre outras, a indústria de fertilizantes e agroquímicos.

$$\begin{array}{c} \text{Emissões} \\ \text{tipo de uso; combustível; gás} \\ \text{produção de fertilizantes} \\ \text{e agroquímicos} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Emissões} \\ \text{tipo de uso; combustível; gás} \\ \text{indústria química} \end{array} * \frac{\begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{combustível} \\ \text{produção de fertilizantes e agroquímicos} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{combustível} \\ \text{indústria química} \end{array}}$$

Sendo:

$\begin{array}{c} \text{Emissões} \\ \text{tipo de uso; combustível; gás} \\ \text{produção de fertilizantes e agroquímicos} \end{array}$ = Emissões de cada **gás** na **produção de fertilizantes e agroquímicos** para cada **combustível** utilizado e **tipo de uso** (consumo final energético ou centrais elétricas autoprodutoras)

$\begin{array}{c} \text{Emissões} \\ \text{tipo de uso; combustível; gás} \\ \text{indústria química} \end{array}$ = Emissões de cada **gás** na **indústria química** para cada **combustível** utilizado e **tipo de uso** (SEEG, 2022)

$\begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{combustível} \\ \text{produção de fertilizantes e agroquímicos} \end{array}$ = Consumo de cada **combustível** na atividade de **produção de fertilizantes e agroquímicos** (Ibama, 2023)

$\begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{combustível} \\ \text{indústria química} \end{array}$ = Consumo de cada **combustível** na **indústria química** como um todo (EPE, 2022)

Devido à baixa disponibilidade de dados históricos de consumo de combustíveis para produção de fertilizantes e agroquímicos, as emissões dessa atividade só foram estimadas para o ano de 2021.

(ii) Consumo de energia em propriedades agropecuárias

Na produção “dentro da fazenda”, ocorrem emissões ligadas ao uso de combustíveis em máquinas agrícolas ou à geração de eletricidade em centrais elétricas autoprodutoras associadas a propriedades agropecuárias.

Essas emissões representam cerca de 5% do total emitido no setor de Energia (considerando toda economia brasileira), e já estavam disponíveis e bem discriminadas no SEEG.



Tais dados, que cobrem a série histórica de 1970 a 2021, são estimados por meio do consumo de combustíveis no setor agropecuário (disponibilizado anualmente no Balanço Energético Nacional) e dos fatores de emissão disponíveis na metodologia do Inventário Nacional (MCTI, 2020i).

(iii) Processamento industrial de alimentos

Em processamento industrial de alimentos, encontram-se as emissões provenientes do consumo de energia em indústrias de alimentos e bebidas. Tais emissões também já são estimadas diretamente pela metodologia do SEEG e, dessa forma, já estavam disponíveis e discriminadas para o período de 1970 a 2021.

(iv) Produção de materiais para embalagens alimentares

O uso de embalagens em produtos alimentícios têm como principais funções a preservação de vida útil e a proteção nos canais de distribuição. No setor de Energia, devem ser alocadas as emissões decorrentes do consumo de combustíveis e eletricidade na fabricação dos materiais utilizados nessas embalagens: vidro, plástico, alumínio, estanho, aço e papel são os principais exemplos. Estima-se que até dois terços de todo o material de embalagem produzido anualmente no mundo é usado em produtos alimentícios (Piergiorganni e Limbo, 2016 apud FAO, 2021a), o que demonstra a importância de quantificar as emissões relacionadas à fabricação dessas embalagens.

A coleção de dados nacionais do SEEG contabiliza as emissões de GEE devido ao uso de energia para fabricação de materiais (indústrias de não ferrosos e outros da metalurgia, papel e celulose etc.). No entanto, essas emissões consideram a energia utilizada no total de materiais fabricados, não apenas na parcela efetivamente utilizada para o empacotamento de alimentos. Para distribuir essas emissões relacionadas às indústrias, foi necessário determinar e utilizar as respectivas porcentagens de destinação dos materiais produzidos. Assim, por exemplo, se 5% da produção de papel for destinada a embalagens de alimentos, podemos também considerar que 5% das emissões da indústria de papel como um todo são de responsabilidade de sistemas alimentares.

Houve relevante dificuldade em se levantar dados percentuais de materiais produzidos destinados à fabricação de embalagens alimentares, só sendo possível determinar valores referentes ao ano de 2021 e para embalagens que utilizam aço, alumínio ou papel (2%, 41% e 5%, respectivamente). As fontes bibliográficas utilizadas estão listadas na Tabela 4.



(v) Transporte e distribuição de alimentos

A atividade de transporte é responsável pela maior parte das emissões do setor de Energia (47% da quantidade de CO₂e - GWP-AR5 - emitida em 2021). O SEEG desagrega as emissões dessa atividade em funções (transporte de cargas ou de passageiros), modos (rodoviário, ferroviário, hidroviário ou aéreo) e veículos (caminhões, comerciais leves, automóveis, motocicletas, ônibus, locomotivas, embarcações ou aeronaves).

Com o objetivo de alocar emissões para “Transporte e distribuição de alimentos”, foi necessário determinar qual parcela do transporte de cargas - realizado em rodovias por caminhões e veículos comerciais leves; em ferrovias por locomotivas; e em hidrovias por embarcações - refere-se especificamente ao deslocamento de produtos alimentícios (ou fertilizantes). Para isso, foram utilizados os valores

$$Emissões_{\text{carga}}^{\text{modo; veículo; combustível; gás}} = Emissões_{\text{total_transporte_de_carga}}^{\text{modo; veículo; combustível; gás}} * Participação_{\text{carga}}^{\text{modo}}$$

anuais de tonelada.quilômetro (tonelada x quilômetro - unidade que representa intensidade de atividade de transporte) por grupo de carga e modo de transporte calculados nos Planos Nacionais de Logística 2035 e 2025 (EPL, 2021) (EPL, 2018). As emissões puderam, então, ser distribuídas conforme a equação:

Sendo:

$Emissões_{\text{carga}}^{\text{modo; veículo; combustível; gás}}$ = Emissões para cada **gás**, grupo de **carga** relacionado a sistemas alimentares (*fertilizantes; granel sólido agrícola; carne bovina; carne suína e de frango; produtos agrícolas, alimentos processados e laticínios; ou bebidas*) e combinação de **modo** de transporte de carga (*rodoviário; ferroviário; ou hidroviário*), categoria de **veículo** (*caminhões; comerciais leves; locomotivas; ou embarcações*) e **combustível** utilizado (*álcool anidro; álcool hidratado; biodiesel; diesel de petróleo; gasolina automotiva; ou óleo combustível*)

$Emissões_{\text{total_transporte_de_carga}}^{\text{modo; veículo; combustível; gás}}$ = Emissões **totais do transporte de carga** para cada **gás** e combinação de **modo**, categoria de **veículo** e **combustível** utilizado (SEEG, 2022)

$Participação_{\text{carga}}^{\text{modo}}$ = Participação da tonelada.quilômetro de cada grupo de **carga** transportado em um determinado **modo** em relação ao total transportado nesse modo (EPL, 2021) (EPL, 2018)

A tabela a seguir apresenta, conforme diferentes modos de transporte de cargas, a participação da tonelada.quilômetro para cada grupo de carga relacionado a sistemas alimentares em relação ao montante transportado (tonelada.quilômetro total).



Tabela 5.

Participação da atividade de transporte de produtos alimentares (tonelada.quilômetro) em relação à toda atividade de transporte de cargas em diferentes modos².

Grupo de Carga	Modo de Transporte		
	Rodoviário	Ferrovário	Hidroviário
Fertilizantes	2,5%	12,7%	2,0%
Granel sólido agrícola (açúcares, farelos, milho em grão, soja em grão)	6,0%	14,1%	4,5%
Produtos agrícolas, alimentos processados e laticínios	13,0%	0,7%	7,1%
Bebidas	6,4%	0,4%	3,5%
Carne suína e de frango	1,5%	0,1%	0,8%
Carne bovina	0,8%	0,04%	0,4%
Total - Cargas Relacionadas a Sistemas Alimentares	30,2%	28,0%	18,3%

Observando a tabela anterior, é possível perceber a importância da atividade de transporte de cargas alimentares em relação ao total de mercadorias carregadas em diferentes modos. Os produtos alimentícios chegam a representar cerca de 30% de toda atividade de transporte rodoviário de cargas, o que refletirá em uma grande quantidade de emissões de gases de efeito estufa.

Vale lembrar que o último Plano Nacional de Logística traz um cenário base referente ao ano de 2017. No entanto, assumiu-se, dentro dos objetivos deste trabalho, que os números listados na tabela anterior não variam de maneira significativa em um curto período de tempo, e tais porcentagens foram, então, utilizadas para alocar emissões de “Transporte e distribuição de alimentos” referentes a 2021.

(vi) Comercialização e consumo público

Na etapa de comercialização de alimentos, podem ocorrer emissões diretas relacionadas ao setor de Energia devido à queima de combustíveis para cocção em restaurantes, hotéis ou outros estabelecimentos e também indiretas devido ao uso de eletricidade, principalmente na rede varejista (mercados). O uso de fontes energéticas para cocção também ocorre no setor público - escolas, universidades, serviços de saúde etc.

A partir de sua metodologia, que, como já citado, utiliza os dados primários disponíveis no Balanço Energético Nacional (BEN), o SEEG apresenta emissões

² Os dados originalmente disponibilizados no Plano Nacional de Logística não desagregam informações de transporte de carnes entre carne bovina e outras (avícola e suína). Como esse trabalho tinha um especial interesse em rastrear emissões ligadas à cadeia da carne bovina, essa desagregação foi estimada, simplificada, a partir da porcentagem da produção de carne bovina (33,9%) em relação à massa total de carnes (bovina, avícola e suína) produzida no Brasil, segundo estatísticas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2023). Dessa maneira, assumiu-se que a fração de 33,9% da tonelada.quilômetro relacionada ao transporte de carnes como um todo seria referente apenas ao transporte de carne bovina.



provenientes do consumo de carvão vegetal e GLP (gás liquefeito de petróleo) nos subsetores comercial e público. Assumiu-se que todo consumo desses dois combustíveis em tais subsetores teve como objetivo a cocção de alimentos. Suas emissões foram, então, contabilizadas integralmente em sistemas alimentares.

Na impossibilidade de determinar acuradamente a quantidade de eletricidade utilizada no subsetor comercial e no público especificamente para atividades relacionadas a sistemas alimentares, como refrigeração, cocção ou iluminação de restaurantes e lojas, optou-se por estimar apenas o consumo anual de eletricidade em unidades varejistas (mercados), supondo que são grandes consumidoras de energia elétrica e que boa parte das áreas que ocupam são utilizadas para exposição ou estoque de produtos alimentícios.

O consumo anual de energia elétrica no comércio varejista foi estimado multiplicando a área total de vendas (23 milhões de m²) ocupada pelo conjunto de mercados de vizinhança, supermercados, hipermercados e atacarejos existente no Brasil (Abras, 2022) pela demanda média de eletricidade por área (571 kWh/m²/ano) das lojas das redes Carrefour, Assaí Atacadista e GPA, conforme seus respectivos relatórios de sustentabilidade (Carrefour, 2022) (Assaí, 2022) (GPA, 2022). O resultado foi de pouco mais de 13 mil GWh, o que corresponde a 15% do total de eletricidade consumida no subsetor comercial (EPE, 2022).



Participação do uso de eletricidade no varejo de alimentos em relação ao total consumido no setor comercial.

Sobre esse valor, que foi estimado apenas para 2021, aplicou-se um fator de emissão calculado a partir das emissões e das gerações de centrais elétricas de serviço público (CESPs) e de centrais elétricas autoprodutoras (CEAs) do setor comercial, e que considera que 95% da eletricidade consumida no comércio é fornecida por CESP e os outros 5% por CEAs (EPE, 2022).

(vii) Consumo doméstico de energia para cocção e refrigeração de alimentos

Em consumo doméstico de energia para cocção, foram alocadas as emissões provenientes do uso de carvão vegetal, gás natural, GLP e lenha no subsetor residencial, já disponíveis para a série histórica de 1970 a 2021 nos dados do SEEG.

Já para definir as emissões indiretas devido ao consumo doméstico de eletricidade para refrigeração de alimentos, foi necessário levantar o número total de geladeiras nas residências brasileiras - mais de 66 milhões (IBGE, 2016) - e multiplicá-lo por uma taxa que representa a demanda energética anual de uma geladeira média - adotou-se o valor de 302,4 kWh/geladeira/ano (Procel).

Dessa maneira, estimou-se que, em 2021, 19,8 mil GWh foram consumidos para refrigeração doméstica de alimentos, o que, ao se aplicar um fator de emissão médio referente ao perfil de consumo de eletricidade no subsetor residencial disponível no BEN, resulta nas emissões alocadas em sistemas alimentares.

³ Documentos referentes a outras empresas não foram encontrados.



(viii) Uso de eletricidade em atividades de sistemas alimentares

O uso de eletricidade pode produzir emissões indiretas se parte dessa energia tiver sido gerada a partir da queima de combustíveis em usinas termelétricas. Por isso, no setor de Energia, houve a preocupação de estimar a demanda de eletricidade de cada atividade específica de sistemas alimentares, bem como de atribuir as respectivas emissões indiretas relacionadas.

Os usos de eletricidade nas atividades de “Comercialização e consumo público” e “Consumo doméstico de energia” foram estimados a partir de valores médios de demanda energética por área de mercados varejistas (kWh/m²/ano) ou por unidade de geladeira (kWh/geladeira/ano), conforme melhor explicado nos respectivos subtópicos anteriores.

Para as demais atividades, as emissões referentes a centrais elétricas autoprodutoras foram alocadas conforme os mesmos critérios e parâmetros utilizados para distribuir emissões pela queima direta de combustíveis, já que tais usinas funcionam especificamente para suprir as demandas do subsetor em que estão instaladas. Já as emissões referentes a centrais elétricas de serviço público, que não são plantas controladas por um determinado subsetor econômico, foram estimadas a partir do consumo de eletricidade de serviço público de cada atividade, segundo informações do Balanço Energético Nacional.

(ix) Emissões indiretas não consideradas

Com exceção das emissões indiretas ligadas ao uso de eletricidade, este trabalho, ao se basear na metodologia proposta pela FAO (FAO, 2021b) e também devido ao difícil acesso a dados primários e à complexidade das premissas que teriam que ser adotadas, não se propôs a estimar outras categorias indiretas de emissões. Como exemplos de emissões indiretas, cita-se aquelas geradas em outros países durante a fabricação de insumos que são importados pelo agronegócio; ou aquelas ocasionadas na cadeia de produção e distribuição dos combustíveis queimados em atividades de sistemas alimentares; ou mesmo aquelas provenientes da fabricação de materiais como cimento e aço, posteriormente utilizados na construção de supermercados ou fábricas de produtos alimentícios.

2.3.2

Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)

No setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP) estão alocadas as emissões que ocorrem em virtude de transformações físico-químicas de materiais na indústria ou devido ao uso direto de determinados produtos. Pode-se citar como exemplo de transformação que ocorre na indústria o processo de fabricação de amônia a partir do gás natural. Já como uso de produtos, cita-se a utilização de gases HFCs como fluidos refrigerantes em geladeiras.

As emissões de PIUP relacionadas a sistemas alimentares são aquelas provenientes da indústria química (em razão da produção de matérias-primas para fertilizantes, como o ácido nítrico), da produção de materiais para embalagens alimentícias (como o aço e o alumínio utilizados em latas), além daquelas associadas ao uso de



HFCs em ambientes refrigerados como frigoríficos e veículos especiais, na cadeia do varejo ou em equipamentos domésticos (geladeiras e freezers).

As emissões relacionadas à indústria química de fertilizantes se enquadram na etapa de pré-produção de alimentos ("antes da fazenda"), enquanto os gases emitidos durante a fabricação de materiais para embalagens ou como consequência do uso de gases refrigerantes (HFCs) são enquadrados na etapa de pós-produção ("depois da fazenda"). Uma vez que não ocorrem emissões de PIUP durante o cultivo agrícola ou a criação de animais, não há gases de efeito estufa provenientes desse setor alocados na etapa de produção ("dentro da fazenda") de sistemas alimentares.

As emissões de PIUP que ocorrem devido a sistemas alimentares foram estimadas seguindo estratégias similares às empregadas no setor de Energia. Ou seja, quando as emissões não estavam diretamente disponíveis por meio da metodologia do SEEG, foram empregados fatores de alocação, baseados em dados de atividade, para distribuir os resultados de um determinado subsetor produtivo em emissões diretamente ligadas a sistemas alimentares. Maiores detalhes são apresentados nos tópicos a seguir.

(i) Produção de fertilizantes

Segundo o Anuário Estatístico 2022 da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), os produtos químicos utilizados como matérias-primas de fertilizantes comerciais são: amônia, rocha fosfática e ácido sulfúrico. Respectivamente 79%, 89% e 81% do uso dessas matérias-primas em 2021 tiveram como fim a produção de fertilizantes (ANDA, 2022).

A produção de amônia emite CO_2 , além de estar associada à produção de ácido nítrico, que também é utilizado para fabricação de fertilizantes, quando ocorre a emissão de N_2O . Já a rocha fosfática está associada à produção de ácido fosfórico, que emite CO_2 , enquanto a produção de ácido sulfúrico não emite gases de efeito estufa.

Nos resultados do SEEG, já estavam disponíveis as emissões relacionadas à produção total de amônia, ácido nítrico e ácido fosfórico. Para determinar a quantidade de gases de efeito estufa provenientes especificamente da produção de fertilizantes, multiplicou-se, então, os resultados prévios referentes à amônia e ao ácido nítrico por 79% (parcela da amônia produzida no Brasil que é utilizada para fins fertilizantes) e os resultados relacionados ao ácido fosfórico por 89% (fração de rocha fosfática utilizada para fabricação de fertilizantes).

Vale lembrar que, para as emissões de Processos Industriais que foram estimadas por meio de fatores de alocação, como é o caso das emissões de fertilizantes, só foram determinados valores referentes ao ano de 2021, assim como feito no setor de Energia.



(ii) Produção de materiais para embalagens alimentares

Em PIUP, agora na etapa de pós-produção, ainda ocorrem emissões na manufatura de materiais para embalagens de alimentos. Vidro, plástico e produtos metálicos são exemplos de materiais utilizados em embalagens de alimentos e que geram emissões devido a transformações físico-químicas na indústria.

Para alocar tais emissões em sistemas alimentares, foi necessário levantar a parcela de cada material fabricado direcionada para a produção de embalagens alimentares. Sendo PIUP um setor em que a disponibilidade de dados é bastante problemática, só foi possível estimar fatores de alocação referentes à produção de embalagens alimentares de aço e de alumínio no ano de 2021.

Do total de aço fabricado em 2021, cerca de 2% foi direcionado para fabricação de embalagens alimentares (IABr, 2022a) (IABr, 2022b) (World Steel Association). Já do total de alumínio primário produzido em 2021 pelo parque industrial brasileiro, 42% foi direcionado para embalagens (Abal) e se assumiu que todas as embalagens produzidas são de alimentos - mesma premissa utilizada no artigo *"Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions"* (Crippa et al., 2021).



Parcela das emissões de PIUP inerentes à produção de alumínio alocada em sistemas alimentares.

Sendo assim, 2% do montante estimado conforme a metodologia do SEEG para as emissões da produção de aço dentro de PIUP foi considerado como de responsabilidade de sistemas alimentares. Já 42% das emissões de PIUP inerentes à produção de alumínio foram alocadas em sistemas alimentares.

É importante salientar que a produção de materiais para embalagens alimentares, assim como a de fertilizantes, além de emitir gases de efeito estufa como um resultado de transformações físico-químicas, emite GEE devido ao uso de Energia, conforme explanado no tópico metodológico referente a tal setor. Assim, para entender o total emitido nessas atividades, é necessário somar os resultados referentes ao setor de PIUP àqueles referentes ao de Energia.

(iii) Uso de HFCs em equipamentos de refrigeração empregados em atividades de sistemas alimentares

O uso de HFCs, poderosos gases de efeito estufa, em aparelhos de refrigeração se trata de uma importante fonte de emissão no setor de PIUP. Esses gases são emitidos na produção, no uso e no sucateamento de equipamentos como geladeiras ou freezers e de sistemas utilizados, por exemplo, para diminuição e controle de temperatura em frigoríficos.

Para a série histórica de 1996 a 2016, as emissões de HFCs referentes a equipamentos utilizados para refrigeração de alimentos (caminhões frigoríficos; congeladores; geladeiras; resfriamento de águas, sucos e bebedouros; e vitrines e câmaras frigoríficas) puderam ser retiradas diretamente da metodologia do último Inventário Nacional (MCTI, 2020j). Conforme cada gás e categoria emissora, esses valores foram extrapolados linearmente para obter estimativas de emissões de 2017 a 2021.



2.3.2

Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais (PIUP) relacionadas à cadeia da carne bovina

Energia e Processos Industriais (PIUP) são setores em que a relevante indisponibilidade de dados prejudicou uma alocação ideal das emissões em sistemas alimentares. Para o recorte específico das emissões relacionadas à cadeia da carne bovina brasileira, essa indisponibilidade de informações se mostrou ainda mais aguda.

Com isso, apesar de ocorrer, sim, nesses setores, emissões em todas as etapas de produção e consumo de carne bovina (uso de fertilizantes em pastagens, processamento industrial, transporte, produção de embalagens etc.), só foram encontrados dados específicos sobre a atividade de transporte de carnes.

Conforme explanado na seção 2.3.1 deste documento, a partir de informações do Plano Nacional de Logística e da Companhia Nacional de Abastecimento, sabe-se que 0,8% da atividade de transporte de cargas rodoviário ocorre para distribuição de carne bovina, enquanto outros 0,04% e 0,4% das atividades de transporte de cargas ferroviário e hidroviário, respectivamente, tem ligação com a indústria da carne bovina (vide Tabela 5). Essas porcentagens foram, então, utilizadas para atribuir uma parcela das emissões totais de transporte e logística à cadeia de carne bovina no Brasil.

2.4

Resíduos

De acordo com as bases metodológicas de orientações para a elaboração de inventários nacionais do IPCC, no setor de resíduos são estimadas exclusivamente emissões oriundas do tratamento, ou seja, são apenas contabilizadas emissões provenientes da degradação de matéria orgânica e outros componentes a partir da aplicação de diferentes rotas de tratamento, ou até mesmo da ausência dele, tanto de resíduos sólidos quanto de efluentes líquidos.

Para estimar as emissões relacionadas com sistemas alimentares, utiliza-se como referência as bases metodológicas do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2020h), bem como orientações da FAO apresentadas no documento *Methods for estimating GHG emissions from food systems - Part II: Waste Disposal* (Karl e Tubiello, 2021).

De acordo com a definição da FAO, os resíduos associados a sistemas alimentares podem gerar uma quantidade significativa de emissões de GEE. Essas emissões estão associadas com a disposição final de resíduos sólidos, incineração e tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais. A seguir, são detalhadas cada uma das atividades emissoras e como elas convergem com o conceito de sistemas alimentares.

Na disposição final de resíduos sólidos são consideradas emissões relacionadas com a fração de resíduos alimentares e outras composições encaminhadas para aterros sanitários, controlados ou lixões, onde a decomposição da matéria orgânica por bactérias metanogênicas é responsável pela emissão de metano.



A destinação por meio de incineração também é reconhecida pela FAO, em especial a queima controlada de resíduos de plástico e borracha utilizados em sistemas alimentares. No entanto, é importante destacar que no Brasil, a incineração é utilizada principalmente para o tratamento de resíduos de serviços de saúde, não contribuindo para emissões de GEE relacionadas com alimentos.

Em relação aos efluentes líquidos domésticos, é realizada uma análise a partir de uma perspectiva biológica, a qual considera todo o ciclo de nutrientes dos alimentos, associando todas as emissões provenientes deste subsetor como oriundas de atividades relacionadas com os sistemas alimentares (Karl e Tubiello,2021).

Por fim, analisa-se também a estimativa de emissões de GEE relacionadas com o ciclo de produção, em especial o tratamento de efluentes líquidos industriais na produção de carnes, leites e cerveja, que são as indústrias alimentícias que apresentam maior potencial de geração de carga orgânica nos seus efluentes (MCTI,2020h).

No geral, de acordo com as metodologias adotadas, as emissões do setor estão relacionadas com atividades caracterizadas como depois da porteira, na chamada Pós-produção, conforme pode ser observado nas figuras 6 e 7.

Figura 6.
Fontes de emissões de GEE do setor de resíduos no processamento de alimentos.

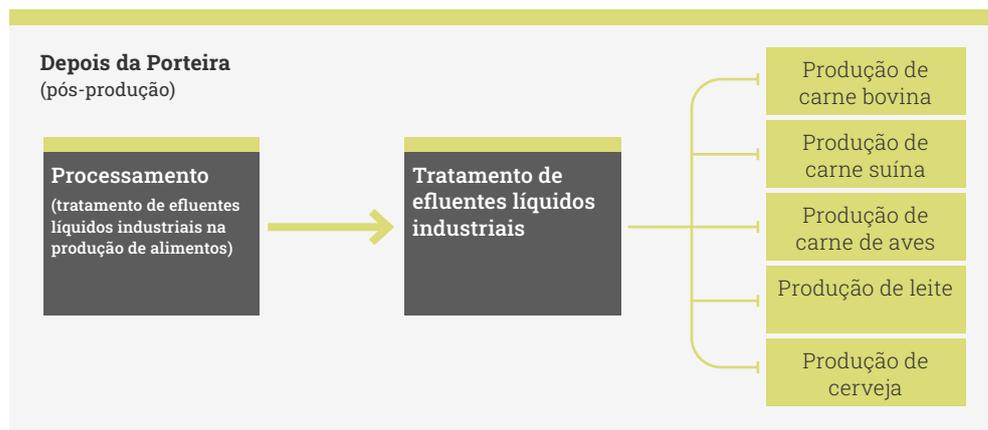


Figura 7.
Fontes de emissões de GEE do setor de resíduos para sistemas alimentares no pós consumo.



Podem ser observadas contribuições no setor na etapa de pré-produção, por exemplo com emissões relacionadas à disposição final de embalagens de fertilizantes ou até mesmo ao tratamento de efluentes líquidos industriais oriundos da produção de celulose utilizada para a fabricação dessas embalagens. No entanto, devido a uma grande dificuldade na rastreabilidade dessas informações, bem como sua baixa relevância na contribuição, optou-se por não estimar essas emissões.

Atividades adicionais, como o tratamento biológico de resíduos alimentares por compostagem ou a queima a céu aberto de resíduos alimentares, não foram contabilizadas também devido à falta de informações e à baixa contribuição no total de emissões.

PERDAS E DESPERDÍCIO EM SISTEMAS ALIMENTARES



A perda de alimentos é caracterizada como a redução de quantidade ou qualidade dos alimentos oriundos de decisões e ações de fornecedores de alimentos da cadeia de valor, ou seja, ocorrem da etapa de produção na fazenda até as centrais de abastecimento (na produção, transporte e/ou armazenamento) (WWF, 2023).

Já o desperdício é definido como uma diminuição na disponibilidade e qualidade que ocorre nas etapas de varejo e consumo, pode estar relacionado tanto com problemas nas etapas anteriores (como por exemplo, armazenamento inadequado) ou com o comportamento dos consumidores finais (WWF, 2023).

De acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária e da FAO, 30% dos alimentos produzidos são desperdiçados ou perdidos, de acordo com o seguinte detalhamento: 28% são perdidos no final do processo de produção; 22% durante manejo e armazenamento; 17% no mercado de distribuição; e 28% desperdiçados nos consumidores finais (MAPA, 2022).

Não existem dados de alta qualidade e recentes sobre perdas e desperdício nos diferentes elos

da cadeia de valor no Brasil. A informação mais recente, oriunda de um estudo da Embrapa com a Fundação Getúlio Vargas, lançado em 2019, estima que as famílias brasileiras desperdiçam cerca de 129 kg de alimentos por ano (41,6 kg ao ano per capita), sendo que frutas e hortaliças representam 50% dos alimentos descartados no cotidiano (MAPA, 2023).

Apesar de serem conceitos relevantes no contexto de sistemas alimentares, é muito complexo associar as emissões de GEE a perda ou desperdício, seja por aspectos metodológicos, como por exemplo, o método de cálculo utiliza como referência a geração e coleta de resíduos domiciliares nas estimativas das emissões, seja pela ausência de informações sobre perda e desperdício nos elos da cadeia. No presente relatório são constatadas emissões pelo desperdício, no entanto, não são informações muito qualificadas porque não existem dados detalhados sobre essa questão nos estudos de composição gravimétrica utilizados para se estimar as emissões relacionadas com a disposição de resíduos orgânicos e restos de alimentos em aterros sanitários, controlados ou lixões.



2.4.1

Emissões do setor de resíduos relacionadas à cadeia da carne bovina

Assim como apresentado para Energia e PIUP, a indisponibilidade de dados do setor de resíduos também prejudicou o processo de alocação de emissões no setor para sistemas alimentares, representando uma dificuldade ainda maior no que se refere à caracterização de emissões relacionadas com a cadeia da carne bovina.

Podem ocorrer diferentes tipos de emissões relacionadas com cadeia no setor, como por exemplo, a disposição de restos de carne em aterros sanitários, controlados ou lixões, no entanto, não existem dados específicos em relação para esse tipo de atividade.

Nesse contexto, as únicas emissões alocadas à cadeia da carne no setor são aquelas referentes ao tratamento de efluentes líquidos industriais oriundos da produção de carne bovina.



3

Resultados



3.1

Emissões totais dos sistemas alimentares

As emissões brutas de gases de efeito estufa decorrentes dos sistemas alimentares do Brasil foram estimadas em 1,8 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e, GWP-AR5) em 2021. Essa quantidade emitida equivale a 73,7% das emissões brutas totais do país em 2021, ano em que as emissões foram de 2,4 GtCO₂e.

A maior parcela das emissões é proveniente do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas, o qual contabiliza o desmatamento, respondendo por 56,3% das emissões nacionais por sistemas alimentares, totalizando uma emissão de 1 GtCO₂e. Logo em seguida, com 33,7% de participação, aparece o setor de Agropecuária, com a totalidade de suas emissões em 2021 (600,8 GtCO₂e) sendo provenientes da produção de alimentos. Assim, somente esses dois setores corresponderam por 90% das emissões por sistemas alimentares.

O setor de Energia é o terceiro maior emissor, respondendo por 5,6% do total, com a emissão de 100,1 MtCO₂e. O setor de Resíduos responde por 4,2% das emissões totais de sistemas alimentares.

Por último, o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos foi o que menos teve suas emissões associadas ao conjunto dos sistemas alimentares; suas emissões foram de 4 MtCO₂e, sendo menos de 1% do total.

Figura 8.

Comparação das emissões de gases de efeito estufa totais e pelos Sistemas Alimentares do Brasil em 2021 (GtCO₂e).

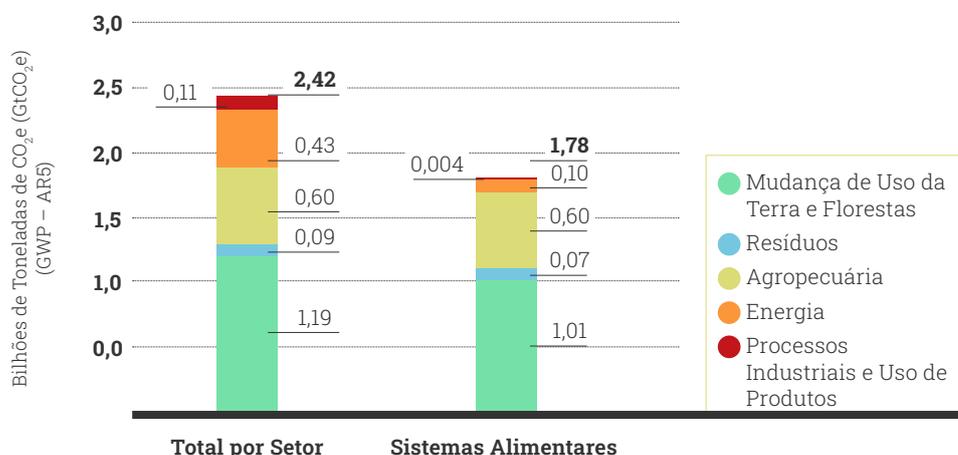
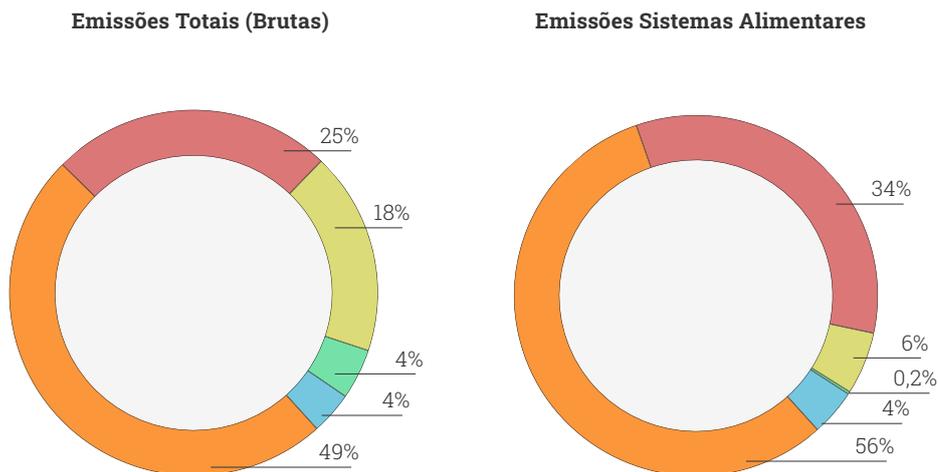




Figura 9.

Comparação da participação dos setores no perfil das emissões totais brasileiras com as dos Sistemas Alimentares em 2021.

- Mudança de Uso da Terra e Florestas
- Agropecuária
- Energia
- Processos Industriais e Uso de Produtos
- Resíduos



Considerando as etapas avaliadas de Mudança de Uso da Terra (MUT), pré-produção, produção e pós-produção dentro do escopo de análise das emissões dos Sistemas Alimentares, a maior parte das emissões estão associadas à etapa de MUT, com 56,3% de participação com a emissão de 1 GtCO₂e. Por serem emissões que envolvem a conversão de usos de terra para outros usos que implicam na produção de alimentos, essas emissões são estimadas e reportadas separadamente das demais etapas de produção. Ou seja, mais da metade das emissões totais dos sistemas alimentares do Brasil são devido ao desmatamento.



Das emissões dos sistemas alimentares ocorrem na etapa de produção

A etapa de produção dos alimentos é a segunda maior emissora. Com 35% das emissões e totalizando 624,6 MtCO₂e, nessa etapa as emissões são provenientes da produção agropecuária que acontece "dentro da porteira", junto com a energia demandada por essas atividades de produção agrícola e pecuária. Desse total, 600,8 MtCO₂e são devidos às emissões do setor de Agropecuária (96,2%), enquanto os 23,9 MtCO₂e restantes (3,8%) são provenientes do setor de Energia.

A terceira etapa mais emissora é a de pós-produção, com a emissão total de 150,6 MtCO₂e e representando 8,4% das emissões dos sistemas alimentares. Essa etapa conta com a participação dos setores de Energia e Resíduos, ambas com uma emissão aproximada de 74,2 MtCO₂e. O restante das emissões é devido ao setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, com 1,5%, totalizando 2,2 MtCO₂e.

A etapa de pré-produção é a que menos emite comparada com as demais etapas, representando 0,2% do total. Com 3,9 MtCO₂e, essa etapa contabiliza as emissões de Energia (2,1 MtCO₂e) e de Processos Industriais e Uso de Produtos (1,8 MtCO₂e).

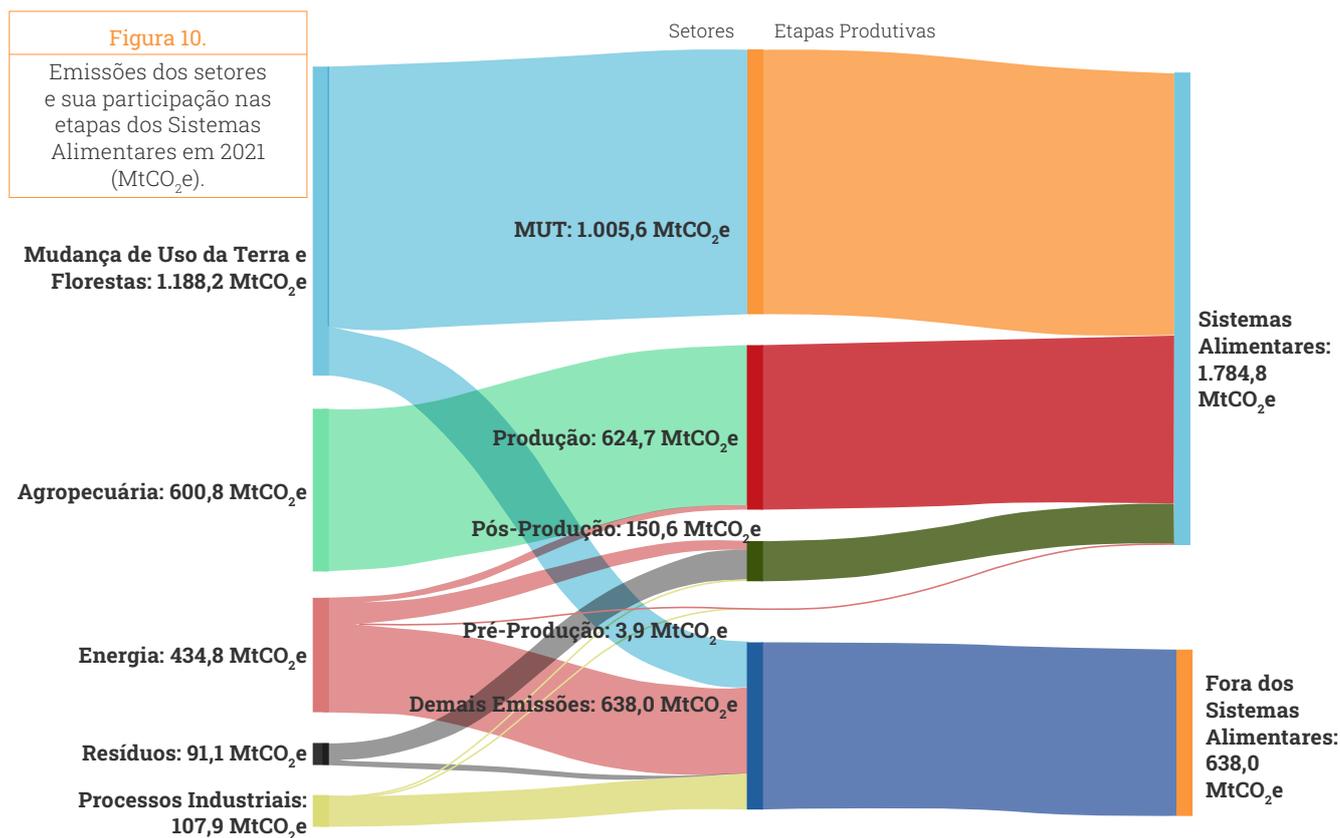
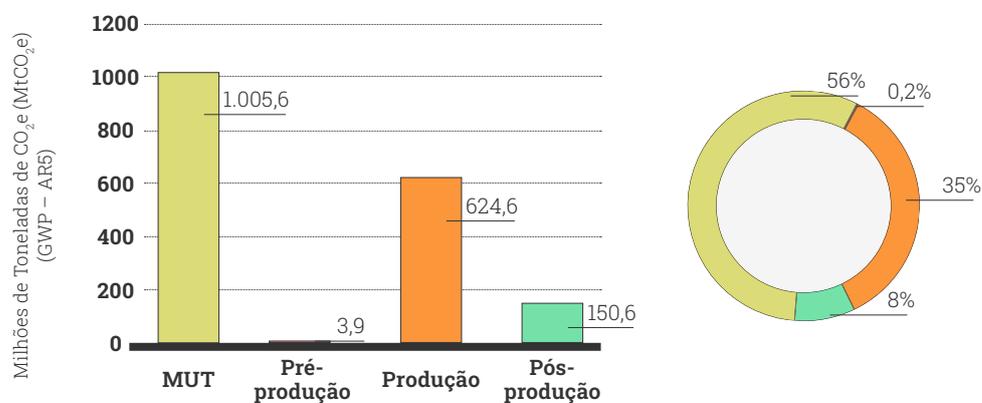


Figura 11.
Emissões nas etapas dos Sistemas Alimentares em 2021 (MtCO₂e).

- Produção
- Pré-Produção
- Pós-Produção
- MUT



Já em relação aos principais gases associados aos sistemas alimentares, o dióxido de carbono apresenta-se como o principal, totalizando 1 GtCO₂, com sua maior parte (87,9%) proveniente da etapa de MUT, com a emissão de 884,1 MtCO₂. A segunda maior etapa emissora de CO₂ foi a de pós-produção (6,4%), com o total de 64,0 MtCO₂, seguida pela de produção (5,4%) com 54,1 MtCO₂ e por último, a de pré-produção (0,4%) com os 3,9 MtCO₂ restantes para o ano de 2021.



O segundo gás de efeito estufa mais emitido foi o metano, com o total de 21,6 MtCH₄. Do total emitido, 69,3%, o equivalente a 14,9 MtCH₄ foi proveniente da etapa de produção. Com 17,3%, a etapa de MUT emitiu 3,7 MtCH₄, seguida pela de pós-produção (13,4%), com a emissão de 2,9 MtCH₄. A etapa de pré-produção foi a que menos emitiu o gás metano, com menos de 1% do gás emitido (361,2 tCH₄).

Emitido em menor quantidade do que os demais GEE, o óxido nitroso atingiu 1,1 MtN₂O. A maior parcela se encontra na etapa de produção (54,2%), com o total de 0,6 MtN₂O. A etapa de MUT foi responsável pela emissão de 0,5 MtN₂O (44,1%), enquanto as de pré-produção e pós-produção foram responsáveis por 1,7% das emissões restantes.

Assim, analisando os três principais GEE antropogênicos dos Sistemas Alimentares, a etapa responsável pela maior parte das emissões de CO₂ é a de MUT, enquanto a etapa de produção é a que concentra a maior parte das emissões de CH₄ e N₂O.

Tabela 6.

Emissões dos principais de GEE resultantes das etapas dos Sistemas Alimentares em 2021 (tGEE).

Sistemas Alimentares			
Etapas Produtivas	CO ₂	CH ₄ Tonelada de GEE	N ₂ O
MUT	884.126.139	3.729.187	468.231
Pré-produção	3.682.133	361	651
Produção	54.101.335	14.939.398	574.463
Pós-produção	64.022.515	2.893.202	17.460
Total	1.005.932.122	21.562.151	1.060.805

3.1.1

Emissões gerais da carne bovina

Em 2021, a carne bovina foi o produto responsável pela maior parte das emissões de GEE dos sistemas alimentares, respondendo por 77,6% e 57,2% das emissões por sistemas alimentares e totais do país, respectivamente.

Do 1,4 GtCO₂e emitido associado de alguma forma à produção de carne bovina, a maior parcela veio do setor de Mudança de Uso de Terra e Florestas. Daí vieram 70,6% das emissões da carne bovina, totalizando 978,1 MtCO₂e. Outra grande parcela vem do setor agropecuário, com 404,8 MtCO₂e, representando 29,2% das emissões totais associadas à produção de carne bovina.



Os setores de Resíduos (1 MtCO₂e) e de Energia (0,8 MtCO₂e) foram os que menos apresentaram emissões associadas à produção de carne bovina, respondendo juntos por 0,2% restante. As emissões do setor de Resíduos representaram 1,1% das emissões nacionais totais pelo setor e 1,3% das emissões desse setor atreladas aos Sistemas Alimentares, enquanto para o de Energia, essas parcelas corresponderam a 0,2% e 0,8%, respectivamente. Já para o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos, não foi possível estimar valores.

Figura 12.

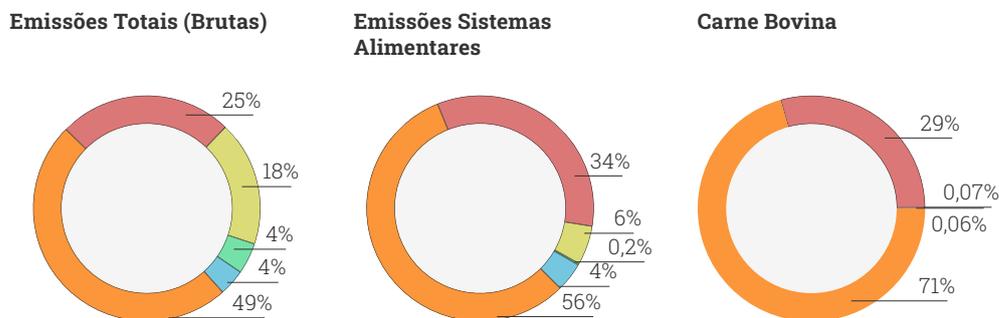
Comparação entre as emissões de gases de efeito estufa total no Brasil, dos sistemas alimentares e pela parcela associada à produção de carne bovina em 2021 (GtCO₂e).

- Mudança de Uso da Terra e Florestas
- Resíduos
- Agropecuária
- Energia
- Processos Industriais e Uso de Produtos



Figura 13.

Comparação da participação dos setores, nas emissões totais do Brasil, dos sistemas alimentares e pela parcela associada à produção de carne bovina no perfil das emissões brasileiras dos Sistemas Alimentares em 2021.



Dentre as etapas em que se dividem as emissões dos sistemas alimentares (MUT, pré-produção, produção e pós-produção), não foram alocadas emissões para a etapa de pré-produção no caso da carne bovina, para tanto sendo necessário um maior aprofundamento e compressão das fontes emissoras associadas à cadeia nessa etapa.



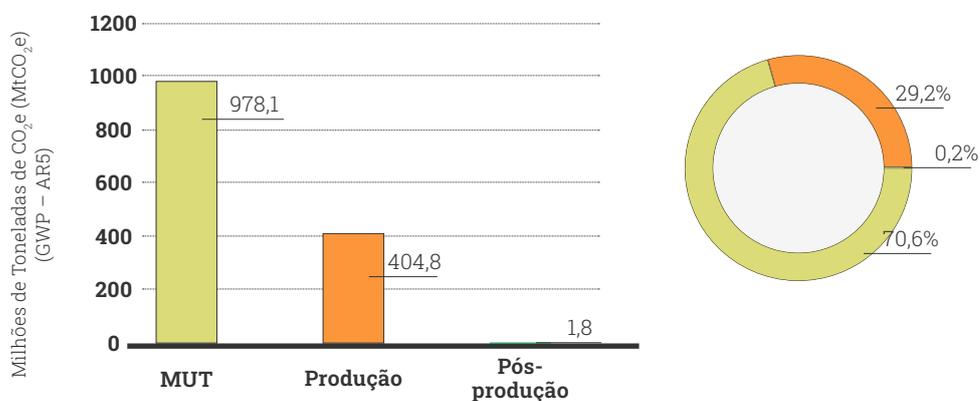
Assim, entre as etapas para que foram estimadas emissões, a etapa que concentra a maior parte é a de MUT, com o total de 978,1 MtCO₂e, representando 71% das emissões estimadas para a carne bovina. Assim como o observado para o perfil geral das emissões dos sistemas alimentares, mais uma vez as emissões por desmatamento respondem pela maior parcela.

Já na etapa de produção, a segunda mais emissora, foram alocadas 404,8 MtCO₂e, correspondendo à totalidade das emissões do setor de Agropecuária para essa etapa. Respondendo por 29,2% das emissões estimadas para a carne bovina, não foi possível alocar para essa etapa as emissões provenientes dos demais setores.

Completando o restante das emissões, a etapa de pós-produção emitiu cerca de 1,8 MtCO₂e, respondendo pelos 0,1% restantes. Desse total, as emissões do setor de Resíduos compreenderam a maior parte (55,6%), com quase 1 MtCO₂e emitidos, enquanto o de Energia (44,4%) emitiu cerca de 0,8 MtCO₂e em 2021.

Figura 14.
Emissões na cadeia da carne bovina, por etapas em 2021 (MtCO₂e).

- Produção
- Pós-Produção
- MUT



Em relação a cada uma das etapas, destaca-se as emissões provenientes da conversão de formações naturais para pastagens (974 MtCO₂e), ou seja, o desmatamento da vegetação primária e secundária, juntamente com rebanho animal de gado de corte (390,6 MtCO₂e), totalizando 93,5% das emissões totais estimadas para a carne bovina.

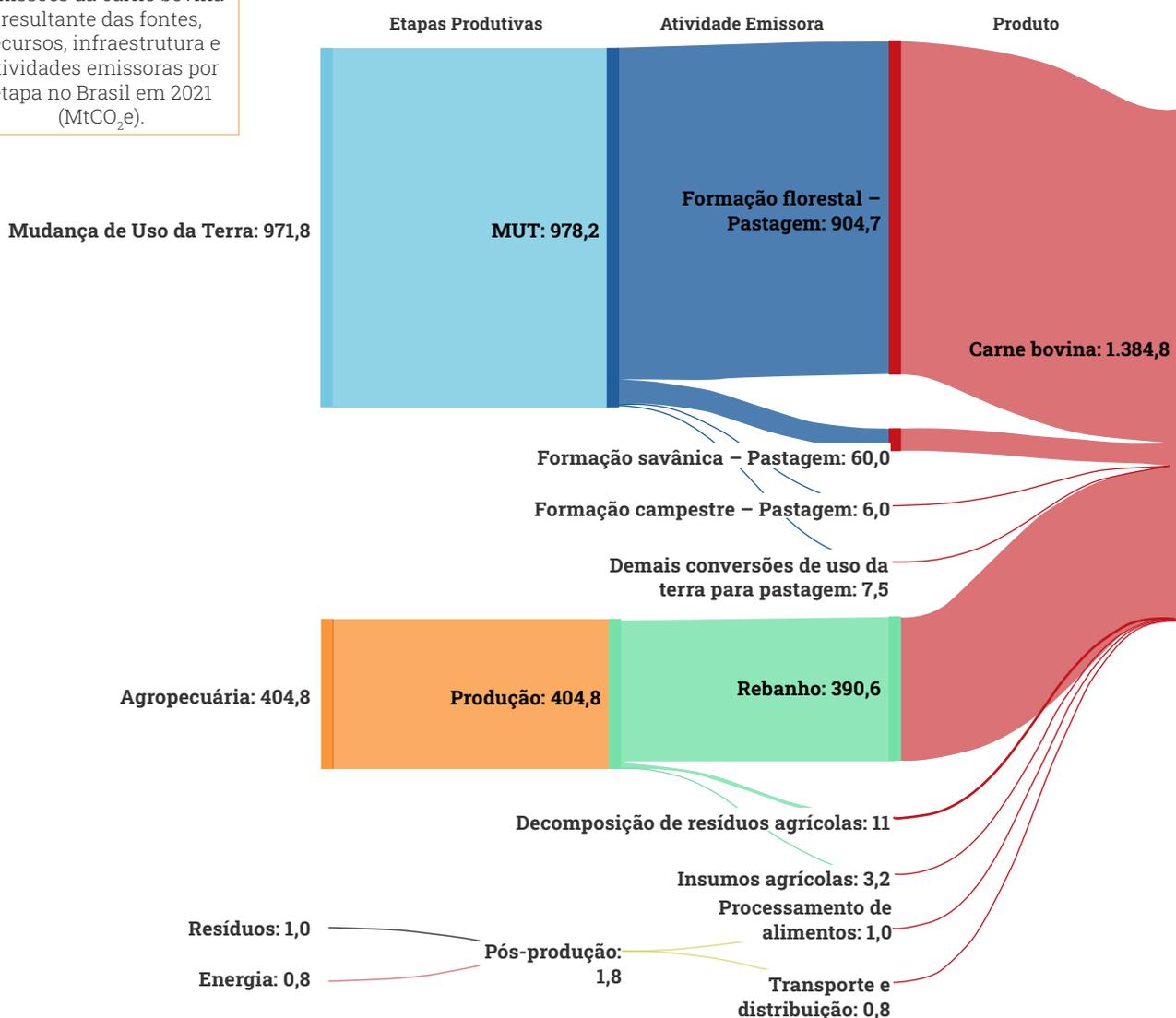
Sobre a etapa de MUT, as emissões estão predominantemente atreladas à conversão de vegetação para áreas de pastagem. Responsável por 93% das emissões pela etapa, o desmatamento de formação florestal é maior causa de emissões (904,7 MtCO₂e), tendo como segunda maior fonte de emissão a conversão de áreas com formação savânica (60,0 MtCO₂e), seguida pelas áreas com formação campestre (6 MtCO₂e), respondendo por 6,2% e 0,6% das emissões pela etapa, respectivamente. Os 0,3% restantes (3,3 MtCO₂e) compreendem os demais usos de terra convertidos.



Pela etapa de produção, 96,5% das emissões são devido ao rebanho bovino e suas emissões de GEE decorrentes da fermentação entérica (o famoso “arroto do boi”) e pelo manejo de seus dejetos. Em seguida, com 11 MtCO₂e, as emissões pela decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens destinadas à produção de gado de corte responderam por 2,7%. Por último, a estimativa dos insumos agrícolas utilizados para o manejo das pastagens, como calcários e fertilizantes sintéticos nitrogenados, emitiram 3,2 MtCO₂e, responderam pelos 0,8% restantes. As demais emissões da carne bovina vieram do processamento (1 MtCO₂e), transporte e distribuição (0,8 MtCO₂e), responsável por 0,1% das emissões.

Figura 15.

Emissões da carne bovina resultante das fontes, recursos, infraestrutura e atividades emissoras por etapa no Brasil em 2021 (MtCO₂e).



Em relação aos GEE emitidos, o CO₂ é mais emitido, com o total de 862,8 MtCO₂, sendo a maior parte sendo proveniente da etapa de MUT (99,6%). Em seguida, com 2,7 MtCO₂, a etapa de produção responde 0,3%, enquanto a de pós-produção pelos 0,80 MtCO₂ restantes, com 0,1%. Toda essa quantidade de CO₂ emitida equivale a 85,8% das emissões desse gás pelos sistemas alimentares.



O segundo gás mais emitido na produção de carne bovina foi o CH_4 , respondendo por 71,8% das emissões totais do gás pelo conjunto total dos sistemas alimentares. Totalizando 12,1 MtCH_4 , somente a etapa de produção foi responsável pela emissão de 78,4%, seguida pela etapa de MUT (21,4%) e pela de pós-produção (0,2%), com o total de 3,3 MtCH_4 e 0,04 MtCH_4 , respectivamente.

O N_2O também concentra-se majoritariamente na etapa de produção, com o total de 0,2 MtN_2O , com praticamente o restante sendo proveniente da etapa de MUT (0,1 MtN_2O) e uma mínima parte proveniente da pós-produção. Assim, totalizando 0,3 MtN_2O , a emissão desse gás pela produção de carne bovina foi o equivalente a 31,4% das emissões totais de GEE estimadas para o conjunto dos sistemas alimentares.

Tabela 7.

Emissões dos principais de GEE resultantes das etapas dos Sistemas Alimentares da produção da produção de carne bovina em 2021 (tGEE).

Sistemas Alimentares - Carne Bovina			
Etapas Produtivas	CO_2	CH_4	N_2O
MUT	859.323.691	3.309.410	97.692
Produção	2.694.672	12.138.168	234.965
Pós-produção	782.705	35.652	45
Total	862.801.068	15.483.230	332.701

3.2

Emissões por Mudança de Uso da Terra e Florestas

Em todo o período analisado (1990-2021), as Mudanças de Uso da Terra e Florestas (MUT) nos sistemas alimentares foram responsáveis pela emissão de 33,7 bilhões de toneladas de CO_2e líquidas no Brasil. No último ano da série, em 2021, foi emitido 1 bilhão de toneladas de CO_2e , o que representa um crescimento de 23% desde 2020, quando se emitiram 815 milhões de toneladas de CO_2e (figura 16). As emissões líquidas contam com um desconto por remoções por Mudanças de Uso da Terra, que são discretas (1 milhão de toneladas de CO_2e em 2021 e 2 milhões de toneladas de CO_2e em média em todo o período analisado) e principalmente relacionadas à conversão entre usos e estabelecimento de cultivos em áreas sem vegetação.

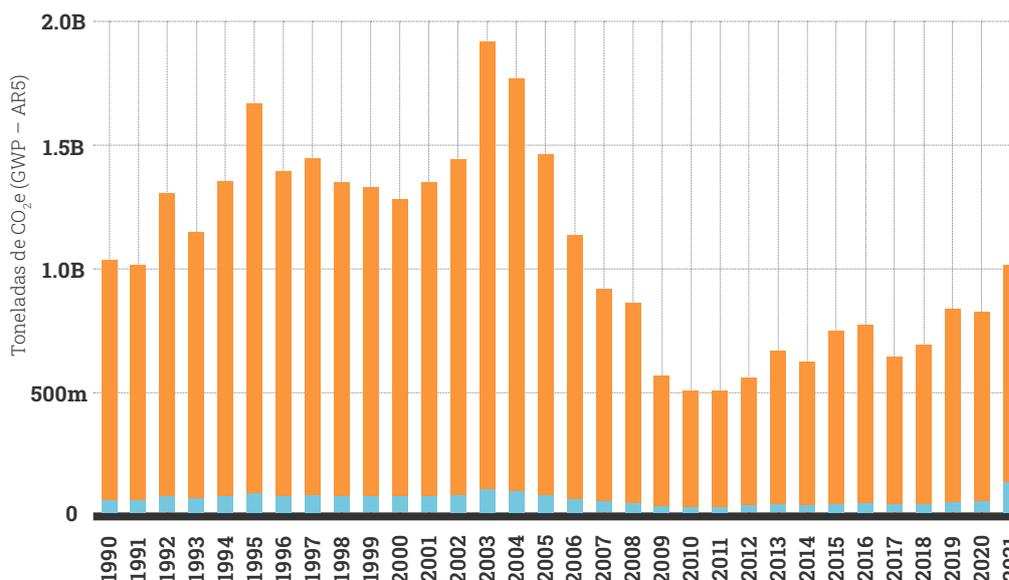
As emissões brutas, portanto, representam praticamente a totalidade das emissões líquidas nos sistemas alimentares. O processo responsável pela maior parte das emissões brutas no período são as Alterações de Uso da Terra, com 32 bilhões de toneladas de CO_2e (figura 16), sendo que quase a totalidade disso (97%) configura desmatamento, ou conversão da vegetação nativa para pastagens e cultivos agrícolas. A queima de resíduos florestais após o desmatamento representa em média 5% das emissões brutas, e um aumento nessa representatividade das queimadas foi observado no último ano, para 12% das emissões brutas daquele ano. As alterações nos estoques de carbono orgânico no solo são responsáveis por 11 milhões de toneladas de CO_2e emitidas em todo o período, correspondendo a uma média de 0,04% das emissões brutas totais.



Figura 16.

Série histórica das emissões líquidas de CO₂e relacionadas aos Sistemas Agroalimentares no Brasil no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 a 2021. Pela dimensão dos valores, apenas os processos de emissões por conversão de uso e cobertura e suas queimadas associadas (queima de resíduos florestais) são visíveis.

- Alteração de Uso da Terra
- Resíduos Florestais

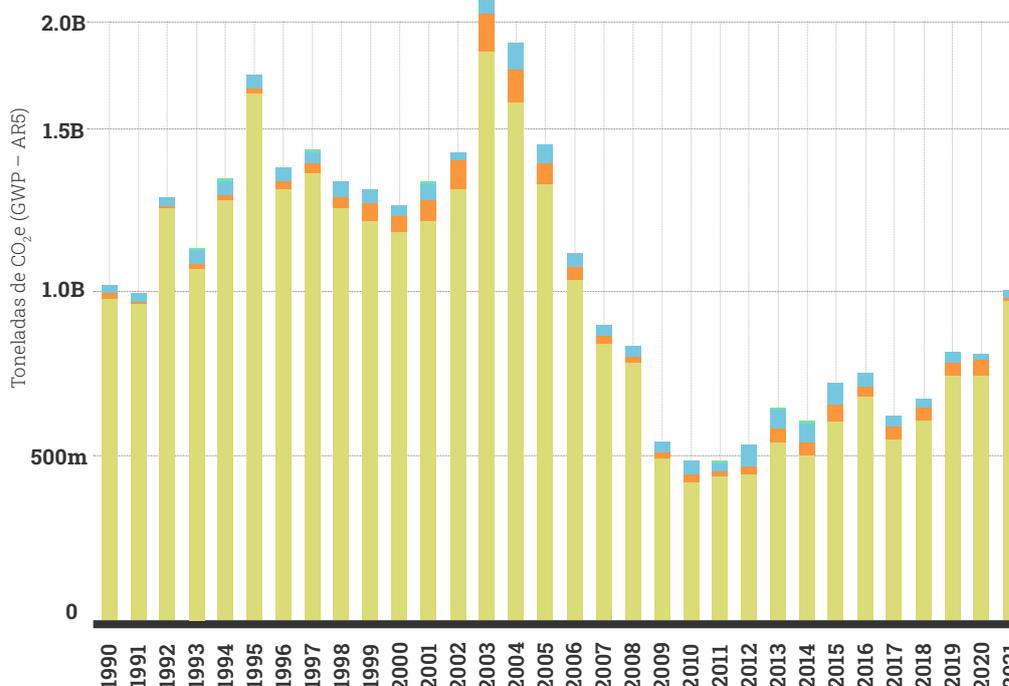


A carne bovina é responsável por 92% das emissões no período e 97% no último ano, 2021 (976 milhões de toneladas de CO₂e), representando um crescimento da representatividade dessa cadeia (figura 17). A soja representou 5% das emissões líquidas no período, com um decaimento relevante no último ano, para 0,3% das emissões líquidas (2,7 milhões de toneladas) em 2021 (figura 17). Esse pequeno montante no último ano advém de um decaimento de áreas de transição de vegetação nativa para soja, tanto direta quanto indiretamente, segundo o mapeamento de cobertura e uso da terra do MapBiomias (Coleção 7.1).

Figura 17.

Série histórica das emissões de CO₂e relacionadas às cadeias dos Sistemas Agroalimentares no Brasil no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas entre 1990 a 2021, com enfoque nas cadeias da carne (pastagem) e da soja.

- Carne Bovina
- Soja
- Outras Lavouras Temporárias
- Lavouras Perenes
- Lavouras Semi-Perenes

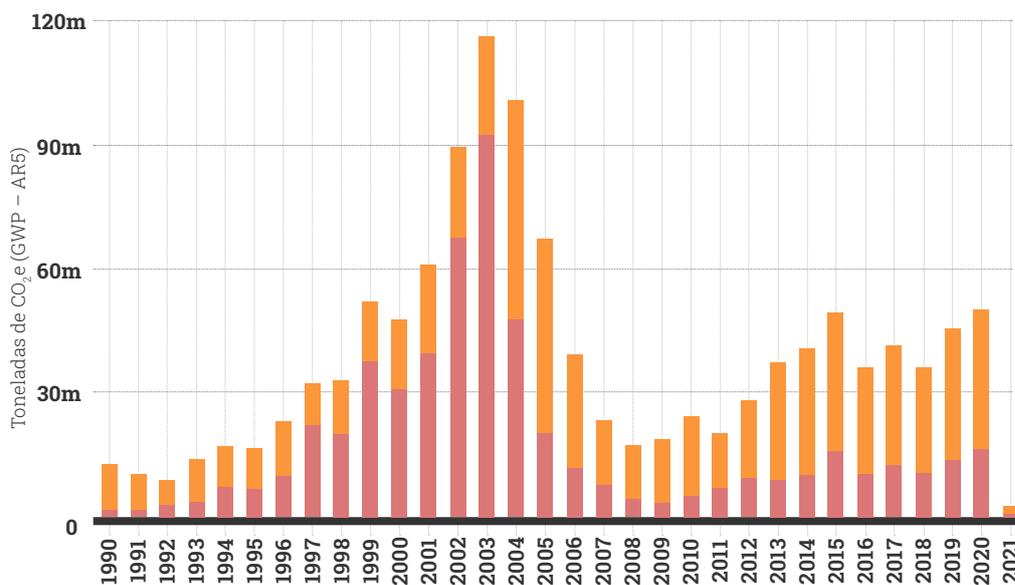




As emissões associadas indiretamente ao cultivo de soja representam, em média, 45% das emissões para cultivo de soja nos últimos 10 anos (figura 18). No entanto, houve um período, entre 1997 e 2003, quando a contribuição da soja “indireta” foi maior que as emissões diretas, chegando a ser 3,7 vezes maior em 2003 (figura 18). Sendo provenientes de transições diretas para pastagem que foram convertidas para soja em um intervalo de cinco anos após a conversão, essas emissões indiretas da cadeia da soja representam, em média, 2% das emissões por desmatamento para pastagem nos últimos dez anos. No último ano, a conversão para soja, tanto direta quanto indiretamente, teve uma queda brusca, mas esse resultado pode estar relacionado a artefatos da classificação de cobertura e uso da terra, que tem maiores incertezas no último ano do período mapeado.

Figura 18.

Série histórica das emissões de CO₂e relacionadas à cadeia da soja no Brasil entre 1990 a 2021, distinguindo entre as emissões provenientes da conversão de vegetação nativa para soja diretamente e as provenientes da conversão para soja até 5 anos após o desmatamento. A redução das emissões no último ano (2021) pode estar relacionada a artefatos da classificação de cobertura e uso da terra, com maiores incertezas no último ano do período mapeado.



- Soja
- Soja Indireta

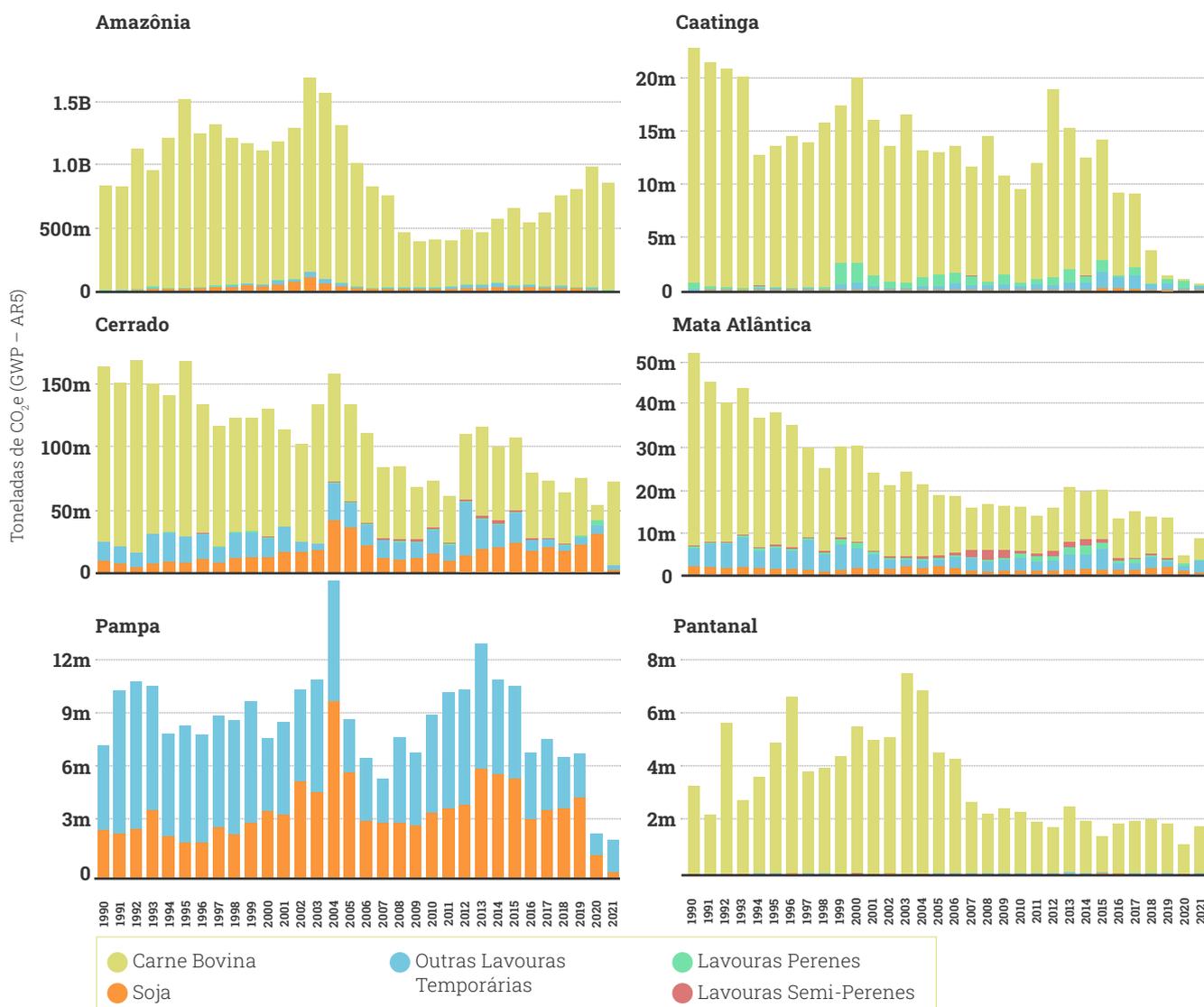
O bioma Amazônia é o predominante nas emissões dos sistemas alimentares, sendo responsável por 92% das emissões no último ano, com 919 milhões de toneladas de CO₂e emitidos (figura 19). Destaca-se a maior proporção das lavouras temporárias no Cerrado, na Mata Atlântica e no Pampa. No Pampa, a produção de carne é considerada em pastagens naturais predominantemente, o que não acarreta em desmatamento, enquanto a conversão para plantio de lavouras temporárias se dá sobre áreas de vegetação nativa florestais e não florestais.

É importante ressaltar ainda o aumento da representatividade da cadeia da carne no último ano no Cerrado e a queda nas emissões observada na Caatinga. Esse padrão deve estar relacionado à abertura de novas áreas para pastagem no Cerrado e na Amazônia, enquanto as áreas de cultivo agrícola permaneceram comparativamente mais consolidadas. O aumento das emissões associados ao desmatamento da Mata Atlântica relacionado à cadeia da carne no último ano também foi notável (figura 19).



Figura 19.

Série histórica das emissões de CO₂e relacionadas às cadeias dos Sistemas Agroalimentares por bioma no Brasil, relacionada ao setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, entre 1990 a 2021. A análise engloba emissões por desmatamento e suas queimadas associadas e as alterações nos estoques de carbono orgânico no solo relacionadas à conversão de uso da terra.



3.2.1

Emissões do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas relacionadas a cadeia da carne bovina

Conforme já apresentado, a cadeia da carne foi responsável, no último ano, por 97% das emissões líquidas do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas, com 976 milhões de toneladas de CO₂e, mesmo após a retirada da proporção associada à soja indireta. Entre 2020 e 2021, observou-se um aumento de 31% (231,5 milhões de toneladas de CO₂e) das emissões brutas dessa categoria (figura 20).

Com exceção do bioma Caatinga, todos os biomas aumentaram as emissões da cadeia da carne no último ano, com aumentos proporcionais mais expressivos no Cerrado (532%) e no Pampa (556%; figura 21). As remoções por Mudanças de Uso da Terra são visíveis apenas no bioma Pampa (figura 21), dada a atividade pecuária sobre campos naturais. As remoções se dão principalmente pela conversão entre usos antrópicos (por exemplo, de áreas de pastagem para lavouras perenes).



Figura 20.

Série histórica das emissões líquidas de CO₂e relacionadas à cadeia da carne, no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, no Brasil, entre 1990 a 2021. Pela dimensão dos valores, apenas os processos de emissões por conversão de uso e cobertura da terra e suas queimadas associadas (queima de resíduos florestais) são visíveis.

- Alteração de Uso da Terra
- Resíduos Florestais
- Remoção por mudanças de uso da terra

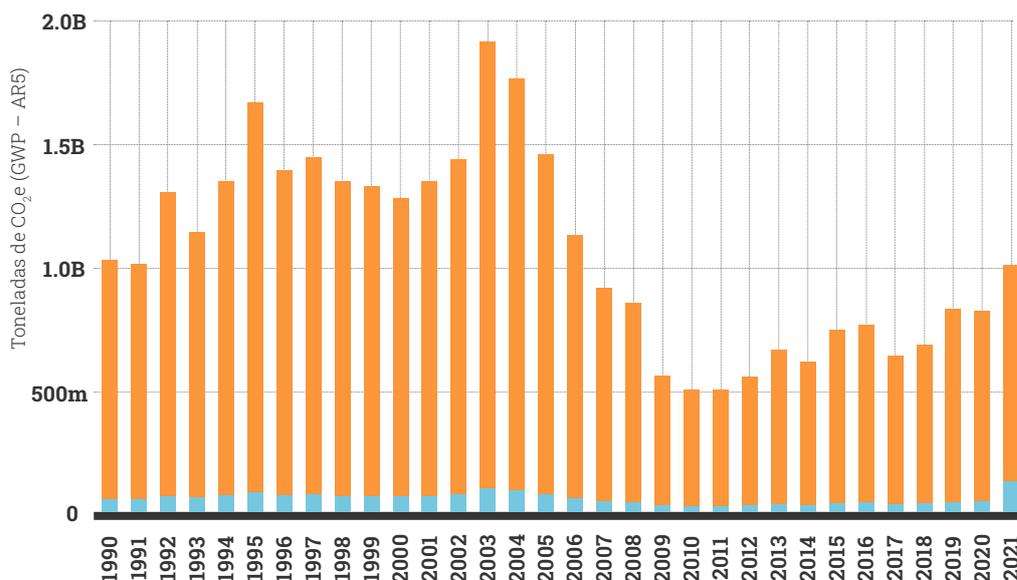
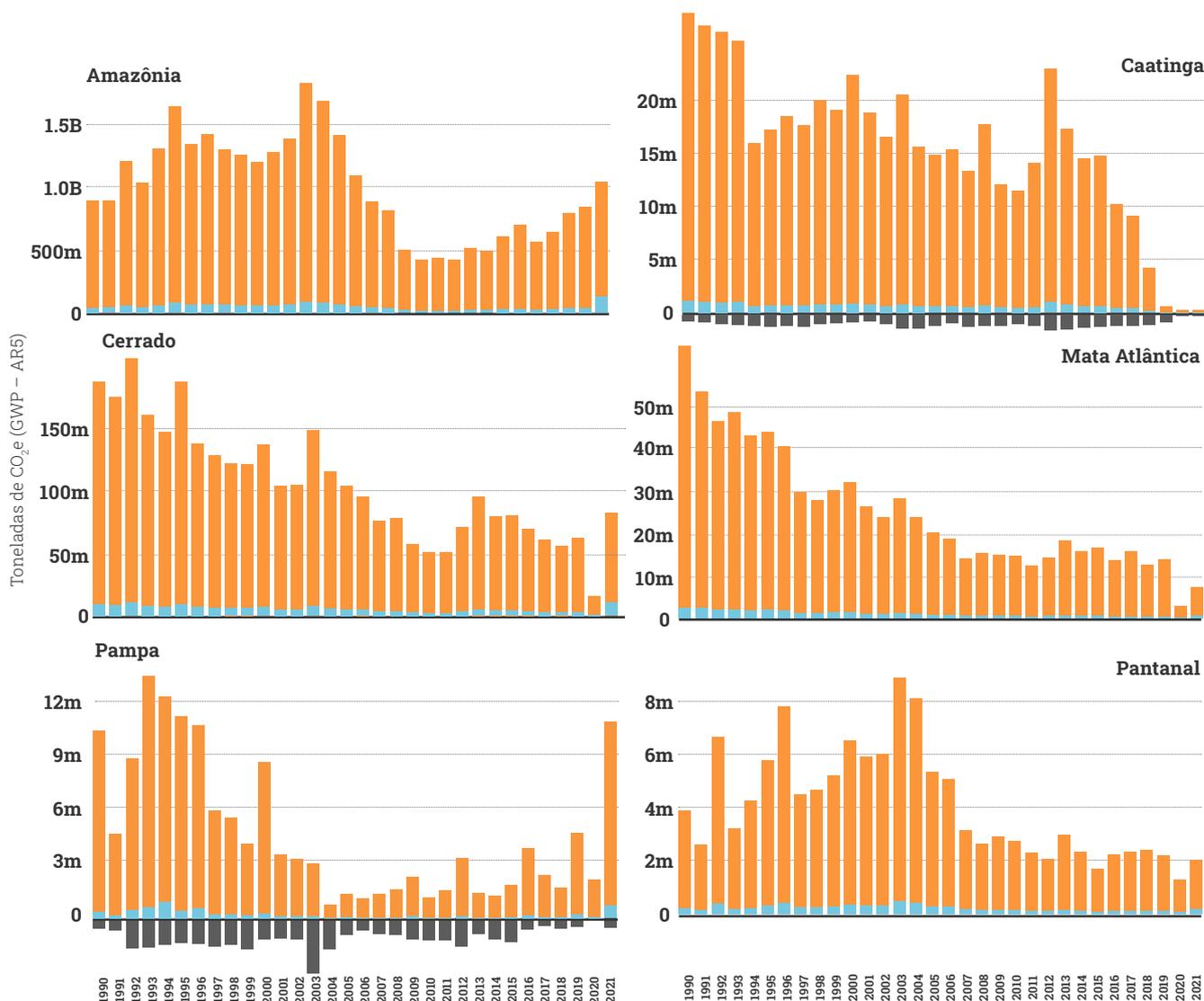


Figura 21.

Série histórica das emissões e remoções brutas de CO₂e relacionadas à cadeia da carne por bioma no Brasil e divididas por processo emissor, no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, entre 1990 a 2021.





3.3

Emissões da Agropecuária

Participação do rebanho bovino nas emissões por fermentação entérica:

97%

Com a alocação total das emissões de GEE do setor agropecuário para a etapa de produção de alimentos dos sistemas alimentares, no ano de 2021 as emissões alcançaram 600,8 MtCO₂e (GWP-AR5), as maiores até então registradas. Desde 1990 as emissões tiveram um salto de 53,7%, partindo de 390,8 MtCO₂e.

Em relação ao ano anterior, as emissões aumentaram cerca de 3,8%, partindo do total de 578,8 MtCO₂e. Esse foi o maior aumento relativo observado desde 2003 (498,7 MtCO₂e), ano em que as emissões apresentaram uma elevação de 6,4% em relação ao ano de 2002 (468,7 MtCO₂e), a maior da série histórica.

Ao analisar por subsetor emissor, o que historicamente mais emite é o de fermentação entérica, que em 2021 também apresentou sua maior emissão, totalizando 382,6 MtCO₂e, representando 63,7% das emissões totais de sistemas alimentares e com um aumento de 35,3% em relação ao ano de 1990, ano em que emitiu 282,7 MtCO₂e. O seu comportamento desempenha influência direta sobre a tendência de aumento ou queda das emissões totais, justamente por depender do tamanho do rebanho da produção animal no país. O rebanho bovino, responde pela quase totalidade das emissões – cerca de 97% –, das quais 86,8% são provenientes do rebanho de gado de corte (332,2 MtCO₂e) e 10,2% do gado leiteiro (38,9 MtCO₂e), enquanto o restante das emissões resulta dos demais animais.

Em seguida, aparecem os solos manejados com 29,8% de participação e com a emissão de 179,2 MtCO₂e, também sendo sua maior emissão até então – um aumento de 124,1% em relação ao ano de 1990 (80,0 MtCO₂e). Atrelados à forma como os solos agrícolas são manejados em relação aos insumos aplicados e uso do solo, destacam-se com as principais fontes emissoras uso dos dejetos de gado de corte utilizados como adubos e dispostos no pasto (49,7 MtCO₂e), fertilizantes sintéticos nitrogenados (37,1 MtCO₂e) e uso de calcário (26 MtCO₂e), respectivamente respondendo por 27,7%, 20,7% e 14,5% das emissões totais desse subsetor.

O subsetor de manejo de dejetos animais historicamente ocupa a terceira posição entre os mais emissores, estando também atrelado ao tamanho do rebanho da produção animal e às diferentes formas de manejo e tecnologias empregadas para o tratamento dos dejetos gerados pela produção animal. Em 2021, o subsetor também alcançou sua maior emissão até então, com o total de 28 MtCO₂e, respondendo por cerca de 4,7% das emissões totais e com o aumento de 64,4% em relação ao ano de 1990 (17 MtCO₂e). O rebanho de suínos destaca como principal fonte emissora, com 12,2 MtCO₂e e 43,7% das emissões do subsetor, seguido pelo gado de corte (8,7 MtCO₂e) e gado de leite (4,3 MtCO₂e), respondendo respectivamente por 31,2% e 15,4% das emissões totais. Ou seja, os 9,7% das demais emissões são resultantes das emissões dos outros rebanhos, sendo que 7,5% é proveniente da produção de aves.

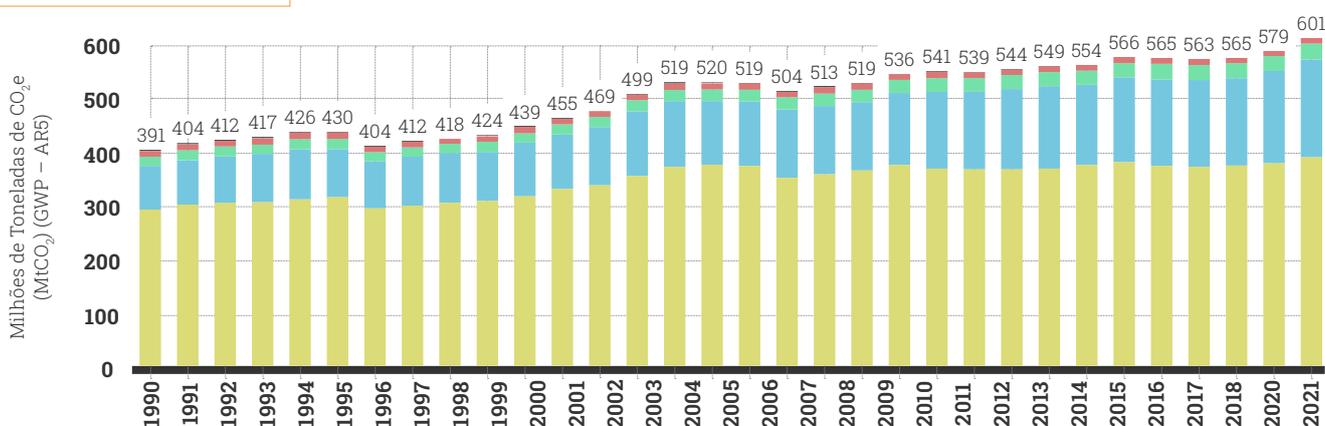
O quarto subsetor mais emissor é o de cultivo de arroz, o que apresentou o menor aumento individual de emissões de gases de efeito estufa entre 1990 e 2021 (9,3%). Em 2021, as emissões totalizaram 10,6 MtCO₂e, sendo responsável por 13,9% das emissões da etapa de produção dos sistemas alimentares.



Por último, o subsetor de queima de resíduos agrícolas foi o único que apresentou redução de suas emissões. Em 1990 as emissões de GEE pela queima da cana-de-açúcar e algodão emitiram 1,9 MtCO₂e, tendo reduzido suas emissões em 78,1% até 2021, ano em que o total emitido foi de 0,4 MtCO₂e. A queda de emissões por esse subsetor está associada à eliminação da prática de uso da queima dos resíduos como forma mais fácil de limpeza das áreas de lavouras e para a colheita. Para o cultivo de algodão, essa prática deixou de ocorrer na década de 1990, quando era empregada principalmente no controle de pragas. Já para a cana-de-açúcar, o seu emprego está associado às áreas de cultivo menos mecanizado, assim ainda ocorrendo o emprego do fogo. A figura 22 traz a emissão por subsetor do setor de agropecuária para a etapa de produção dos sistemas alimentares.

Figura 22.

Emissões de GEE da agropecuária na etapa de produção dos Sistemas Alimentares entre 1990 e 2021.



De todas as emissões alocadas para a etapa de produção agropecuária de sistemas alimentares, cerca de 79,4% correspondem à atividade de pecuária, enquanto os 20,6% restantes pela atividade agrícola, para o ano de 2021. Mesmo com a pecuária sendo historicamente responsável pela maior parcela das emissões, desde 1990 a agricultura vem aumentando sua parcela relativa de emissões, quase dobrando sua participação (91,5%) ao longo desse intervalo, em um contexto de aumento geral das emissões do setor.

Ao se analisar por fonte, é evidente o peso nas emissões totais que certas fontes desempenham, ditando o ritmo de aumento ou redução das emissões associadas à produção de alimentos. O gado de corte e o de leite são as fontes mais emissoras do setor, com 65% e 8,8% de participação, respectivamente para o ano de 2021. Desde 1990, as emissões totais de gado de corte tiveram aumento de 51,8%, partindo de 257,4 MtCO₂e para 390,6 MtCO₂e. Já as emissões provenientes de gado de leite tiveram uma queda de 16,9% para o mesmo período, com 63,8 MtCO₂e em 1990 e caindo para 53,0 MtCO₂e em 2021.

Essa variação nas emissões é reflexo do que vem ocorrendo na atividade pecuária do país. Segundo o IBGE, em 2021 o rebanho brasileiro alcançou o seu recorde, com mais de 224 milhões de cabeças, com aumento de 52,7% em relação ao ano de 1990, quando era de 147,1 milhões de cabeças. Esse aumento do rebanho é puxado pela parcela destinada para a produção de carne bovina, com o rebanho de gado de corte partindo de 128 milhões de cabeças em 1990 para 208,6 milhões de cabeças, aumento de 63%. Já para o rebanho de vacas leiteiras, o comportamento



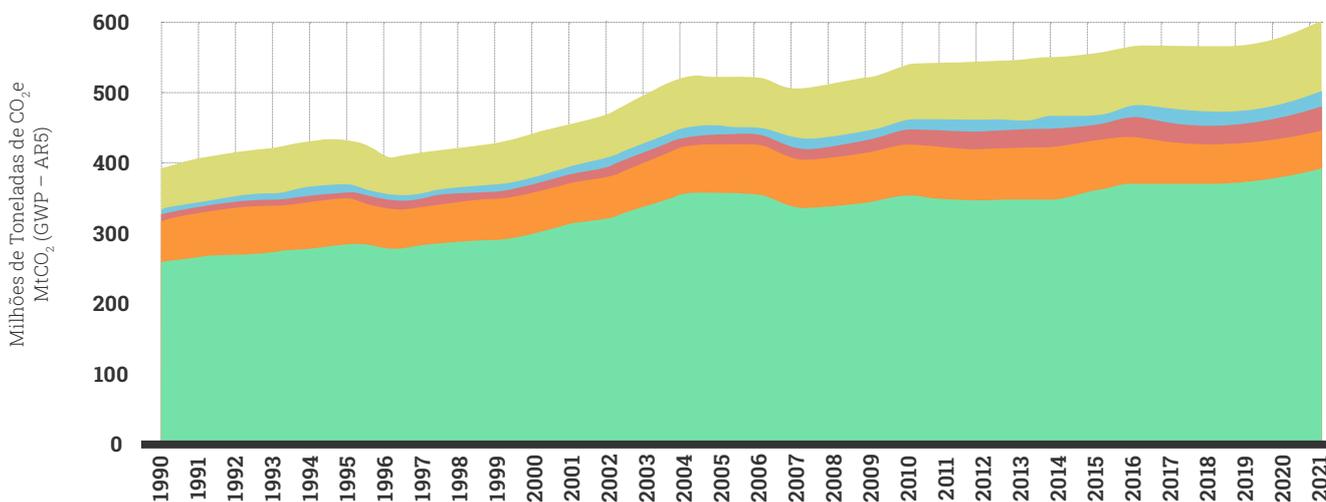
foi o inverso, com o rebanho tendo queda de 16,4% para o mesmo período, com 19,1 milhões de cabeças em 1990 e 15,9 milhões de cabeças em 2021. Ao mesmo tempo, a produção de carcaças pelo país saltou de 3,27 milhões de toneladas em 1997 para 7,43 milhões de toneladas em 2021, aumento de 127,1%. Para o leite, mesmo com redução do rebanho total, o ganho de produtividade ao longo do tempo possibilitou um salto de 143,7% na produção, partindo de 14,5 bilhões de litros em 1990 para 35,3 bilhões de litros em 2021.

As duas fontes mais emissoras após o gado de corte e leite são os fertilizantes sintéticos nitrogenados e o uso de calcário, ambas associadas à produção agrícola no país, respondendo em 2021 por 6,2% e 4,3% nas emissões totais, respectivamente. As emissões por fertilizantes tiveram um aumento em mais de seis vezes, partindo de uma emissão de 4,8 MtCO₂e em 1990 para uma emissão de 37,1 MtCO₂e em 2021. Já o calcário teve aumento em quase três vezes, saindo de 6,7 MtCO₂e para 26 MtCO₂e, para o mesmo período. Esses aumentos decorrem do maior consumo desses insumos, tendo em 2021 o maior consumo até então de ambos os insumos agrícolas, com praticamente 6 milhões de toneladas de fertilizantes sintéticos nitrogenados e 54,5 milhões de toneladas para calcário.

Assim, as quatro fontes emissoras da etapa de produção dos sistemas alimentares corresponderam em 2021 por 84,3% das emissões do setor, sendo que os 15,7% restantes representam as demais emissões agrupadas, cerca de 94,1 MtCO₂e. A figura 23 traz a emissão por fonte do setor de agropecuária para a etapa de produção dos sistemas alimentares.

Figura 23.

Evolução das emissões de GEE de agropecuária pelas principais fontes no período de 1990 até 2021.



- Gado de Corte
- Gado de Leite
- Fertilizantes Sintéticos
- Uso de Calcário
- Demais Fontes

Em 2021, o gás emitido em maior quantidade na etapa de produção dos sistemas alimentares foi o dióxido de carbono (CO₂), totalizando 31,3 MtCO₂, seguido pelo metano (CH₄) com 14,92 MtCH₄, e por último, o óxido nitroso (N₂O), com 0,57 MtN₂O. Apesar da maior quantidade emitida de CO₂, é justamente CH₄ que responde pela maior parcela das emissões, quando se utiliza a métrica de contabilização do GWP-AR5, sendo o gás com maior impacto nessa etapa. Assim, o CH₄ respondeu por 69,5% das emissões, com o total emitido de 417,6 MtCO₂e, tendo um aumento de 35,5% desde 1990. Nota-se o constante aumento de metano por



essa etapa, sendo fundamental a adoção e expansão de práticas e tecnologias no campo que resultem em sua mitigação sem que ocorram perdas de produtividade.

Já o N_2O respondeu por 25,3% das emissões de 2021, tendo emitido o total de 151,8 MtCO₂e e praticamente dobrando sua quantidade emitida desde 1990. Enquanto o CO₂, que em 1990 a emissão foi 7,38 MtCO₂, teve um aumento de mais de três vezes até 2021, totalmente atrelado ao maior consumo de uréia e calcário pelo setor. A tabela 8 traz a emissão por GEE do setor de agropecuária para a etapa de produção dos sistemas alimentares.

Tabela 8.

Evolução da emissão por tipo GEE pelo setor agropecuário para o período de 1990 até 2021.

Gás	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	Toneladas de GEE							
CO ₂	7.380.807	6.770.106	10.652.287	9.979.617	13.705.962	17.547.179	26.285.104	31.328.241
CH ₄	11.008.274	12.107.883	12.132.643	14.256.650	14.304.268	14.436.052	14.510.730	14.916.067
N ₂ O	283.888	317.329	334.512	417.789	459.793	499.117	551.935	572.759

A análise da etapa de produção dos Sistemas Alimentares dentro das propriedades rurais permite compreender quais são as principais atividades e fontes emissoras associadas aos principais produtos gerados pelo setor agropecuário. Vale destacar que para esse exercício de alocação das emissões por produtos, os esforços foram voltados para os produtos mais relevantes que podem estar associados a cada fonte de emissão, em especial para a carne bovina, para qual foi feita a estimativa de da emissão de GEE proveniente das demais fontes e atividades além do próprio rebanho de gado de corte destinado para sua produção.

Dessa forma, somente o rebanho representou em 2021 o equivalente a 79,4% das emissões totais do setor, tendo emitido 476,8 MtCO₂e, um aumento de 36,7% em relação a 1990. Entre os produtos que derivam de todo o rebanho animal, destacam-se as emissões para a produção de carne bovina (390,6 MtCO₂e), leite (53,0 MtCO₂e) e carne suína (14,8 MtCO₂e), 81,9%, 11,1% e 3,1% de participação nas emissões, respectivamente. O restante dos 3,9% estão distribuídos entre os demais tipos de proteína animal, como carne e leite, além de outros produtos e serviços gerados, como lã e tração animal utilizada em atividades agropecuárias.

Com a emissão de 68,4 MtCO₂e, aparecem os insumos agrícolas, subsetor que inclui o uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados, uréia e calcário. Com aumento de mais de quatro vezes se comparado com as emissões de 1990, cerca de 95,3% de suas emissões foram provenientes para todos os demais produtos agropecuários de origem animal e vegetal que de alguma forma demandam a adição de nitrogênio e correção no solo agrícola, totalizando 65,2 MtCO₂e. Os demais 4,7% foram alocados como sendo provenientes da produção de carne bovina, justamente pelo o uso desses insumos em sistemas produtivos a pasto, com o total de 3,2 MtCO₂e em 2021.



Com 6,2% das emissões totais, a decomposição de resíduos agrícolas emitiu cerca de 37 MtCO₂e em 2021, estando atrelada ao tamanho da área colhida e a produção agrícola. Desde 1990, suas emissões tiveram um salto de 146,7%, sendo a produção de grãos (20,9 MtCO₂e) a principal atividade emissora, com 56,6% das emissões em 2021, tendo aumentado em mais de três vezes suas emissões desde 1990. Logo em seguida aparece a produção de carne bovina, com 29,8% e totalizando 11 MtCO₂e, devido a produção de forragem pelas pastagens. Para a produção de açúcar e álcool, cerca de 9,3% é proveniente da cultura de cana-de-açúcar, apresentando um aumento maior que dez vezes se comparado com 1990, quando a emissão era de 0,3 MtCO₂e e passou para 3,4 MtCO₂e, em 2021. Os demais 4,3% restantes das emissões são resultantes da produção de frutas, legumes, hortaliças, fibras e demais produtos agropecuários.

Os demais 3,1% das emissões totais devido às atividades ou processos emissores são resultantes de produção vegetal, contando com a manejo da irrigação para produção de arroz irrigado (10,6 MtCO₂e), as alterações em solos manejados que resultam em emissão de nitrogênio (4,4 MtCO₂e), o uso dos resíduos vinhaça e torta de filtro para adubação (3,2 MtCO₂e) e emprego do fogo como forma de manejo dos resíduos agrícolas (0,4 MtCO₂e), sendo que essas duas atividades estão relacionadas com a produção de açúcar e etanol.

A tabela 9 traz evolução das emissões por produto entre os anos de 1990 até 2021, de acordo com a atividade ou processo emissor associado à sua produção.

Tabela 9.

Emissões de GEE pelas atividades e processos emissores e seus respectivos produtos agropecuários gerados na etapa de produção dos Sistemas Alimentares entre os anos de 1990 e 2021.

Emissão por produto agropecuário	Tonelada de CO ₂ e por ano (tCO ₂ e/ano) – GWP AR5								% de participação
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2021
Rebanho	348.727.477	381.763.185	383.985.329	453.148.083	456.481.572	460.771.429	463.902.854	476.789.897	79,4%
Carne bovina	257.362.601	283.438.483	298.947.565	358.539.415	353.497.418	360.457.642	377.982.274	390.596.868	81,9%
Leite	63.779.952	69.139.364	60.501.777	68.565.338	75.572.568	69.804.915	53.134.608	52.987.407	11,1%
Carne suína	10.779.793	11.709.592	9.748.376	10.458.435	11.489.850	13.863.438	14.377.382	14.806.757	3,1%
Carga, tração e carne de equídeo	4.854.771	5.071.846	4.624.660	4.591.900	4.377.695	4.408.143	4.735.401	4.589.097	1,0%
Carne de ovino, leite e lã	3.613.631	3.310.811	2.672.784	2.819.571	3.143.718	3.330.740	3.733.768	3.718.135	0,8%
Carne de frango e ovos	1.454.631	1.862.720	2.097.738	2.434.821	2.985.190	3.198.866	3.564.549	3.675.221	0,8%
Carne de búfalo e leite	2.845.597	3.344.909	2.245.624	2.390.470	2.413.086	2.792.750	3.061.608	3.162.271	0,7%
Carne de caprino e leite	2.548.823	2.415.332	2.003.303	2.208.931	1.995.717	2.061.926	2.593.988	2.555.829	0,5%
Carga e tração	1.487.678	1.470.128	1.143.500	1.139.203	1.006.331	853.007	719.276	698.310	0,1%
Insumos Agrícolas	12.217.720	13.948.069	21.293.138	24.433.291	32.342.675	40.153.006	59.575.415	68.386.604	11,4%
Demais produtos agropecuários	11.489.570	13.221.606	20.080.880	23.391.448	30.966.506	38.363.165	56.947.304	65.152.118	95,3%
Carne bovina	728.150	726.464	1.212.258	1.041.842	1.376.169	1.789.842	2.628.112	3.234.486	4,7%
Decomposição de Resíduos Agrícolas	14.977.550	16.608.689	17.383.116	22.885.402	27.333.176	33.362.668	37.085.498	36.956.817	6,2%
Grãos	4.431.811	6.363.159	6.732.320	8.926.128	12.141.004	17.154.663	20.847.699	20.934.808	56,6%
Carne bovina	9.141.243	8.837.897	8.896.077	11.608.423	11.281.008	11.234.318	11.032.247	10.997.689	29,8%
Açúcar e álcool	284.145	328.524	587.598	759.959	2.447.851	3.464.609	3.668.677	3.434.755	9,3%

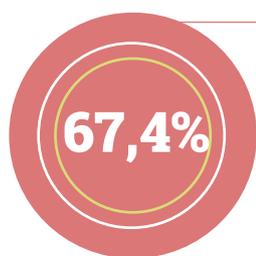
continua...



Tabela 9.

Continuação...

Emissão por produto agropecuário	Tonelada de CO ₂ e por ano (tCO ₂ e/ano) – GWP AR5								% de participação
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2021
Decomposição de Resíduos Agrícolas	14.977.550	16.608.689	17.383.116	22.885.402	27.333.176	33.362.668	37.085.498	36.956.817	6,2%
Frutas, legumes, hortaliças e fibra	319.100	279.332	395.594	639.389	540.954	614.282	716.710	772.528	2,1%
Demais produtos agropecuários	481.118	465.152	468.215	610.970	593.737	591.280	580.645	578.826	1,6%
Legumes	320.134	334.623	303.313	340.534	328.622	303.517	239.521	238.212	0,6%
Manejo de Irrigação	9.272.835	11.536.889	10.311.099	10.796.332	10.793.789	11.906.882	10.369.554	10.565.319	1,8%
Grãos	9.272.835	11.536.889	10.311.099	10.796.332	10.793.789	11.906.882	10.369.554	10.565.319	100,0%
Alterações de Solo	2.782.248	2.821.998	2.880.298	4.573.482	4.501.758	4.358.664	4.413.785	4.413.785	0,7%
Não alocado	2.782.248	2.821.998	2.880.298	4.573.482	4.501.758	4.358.664	4.413.785	4.413.785	100,0%
Uso de Resíduos para Adução	978.174	1.174.384	1.364.439	1.713.341	2.559.689	2.812.623	3.130.186	3.233.429	0,5%
Açúcar e álcool	978.174	1.174.384	1.364.439	1.713.341	2.559.689	2.812.623	3.130.186	3.233.429	100,0%
Manejo com Fogo de Resíduos de Agrícolas	1.886.876	2.029.701	1.794.592	2.330.037	2.057.950	657.307	371.061	413.364	0,1%
Açúcar e álcool	1.755.515	2.029.701	1.794.592	2.330.037	2.057.950	657.307	371.061	413.364	100,0%
Fibra e caroço	131.361	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
Total Geral	390.842.882	429.882.915	439.012.011	519.879.968	536.070.610	554.022.579	578.848.353	600.759.216	100,0%



Emissões da produção animal derivada da produção de carne bovina.

Ao analisar as emissões totais por produto agropecuário gerado pela etapa de produção de sistemas alimentares, nota-se que grande parte deriva da produção animal que resultará na produção de carne bovina, representando 67,4% das emissões totais dessa etapa e totalizando cerca de 404,8 MtCO₂e. Especificamente para a carne bovina, foram alocadas as emissões resultantes do seu rebanho, manejo e disposição dos seus dejetos, assim como as emissões provenientes do uso de insumos agrícolas e decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens com produção bovina para corte.

Logo em seguida, aparecem as emissões dos demais produtos agropecuários (65,7 MtCO₂e) para as quais foram contabilizadas as emissões de fertilizantes sintéticos nitrogenados, aplicação de ureia, realização de calagem e decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens com produção animal, exceto gado de corte. Essas emissões corresponderam a 10,9% e ressalta-se a possibilidade de alocação dessas emissões de forma mais específica para os demais produtos do setor.

A produção de leite respondeu por 8,8% das emissões analisadas sobre a perspectiva de produtos, com alocação das emissões resultantes do gado de leite (53 MtCO₂e). A produção de grãos (31,5 MtCO₂e) vem logo atrás, com 5,2%. Para a produção de grãos foram alocadas todas as emissões associadas ao manejo da irrigação para cultivo de arroz e decomposição dos resíduos agrícolas gerados pela produção de grãos. Para a produção de carne suína (2,5%) e de açúcar e álcool (1,2%) as emissões foram de 14,8 MtCO₂e e 7,1 MtCO₂e, respectivamente. As emissões associadas a carne suína consideram as geradas pelo rebanho de suínos, enquanto para o açúcar e álcool foram contabilizadas as geradas pelo uso



de vinhaça e torta de filtro como adubo, a decomposição dos resíduos agrícolas da cana-de-açúcar e a queima dos resíduos vegetais.

Os 4% das emissões restantes se dividem entre os produtos de origem animal associados à produção de carne, leite e lã, assim como o seu uso em tração animal de cargas. Também há emissões de origem vegetal, como de frutas, legumes, hortaliças e fibra. Parte dessas emissões não foram alocadas especificamente para qualquer produto agropecuário, por se tratarem de emissões pelo manejo do solo.

Figura 24.

Emissões de GEE por produtos agropecuários associados às fontes e atividades emissoras da etapa de produção por Sistemas Alimentares em 2021.

A figura 24 e a Tabela 10 trazem as alocações das emissões feitas para a produção agropecuária para os Sistemas Alimentares para o ano de 2021 e a evolução das emissões por produto entre os anos de 1990 até 2021, respectivamente.

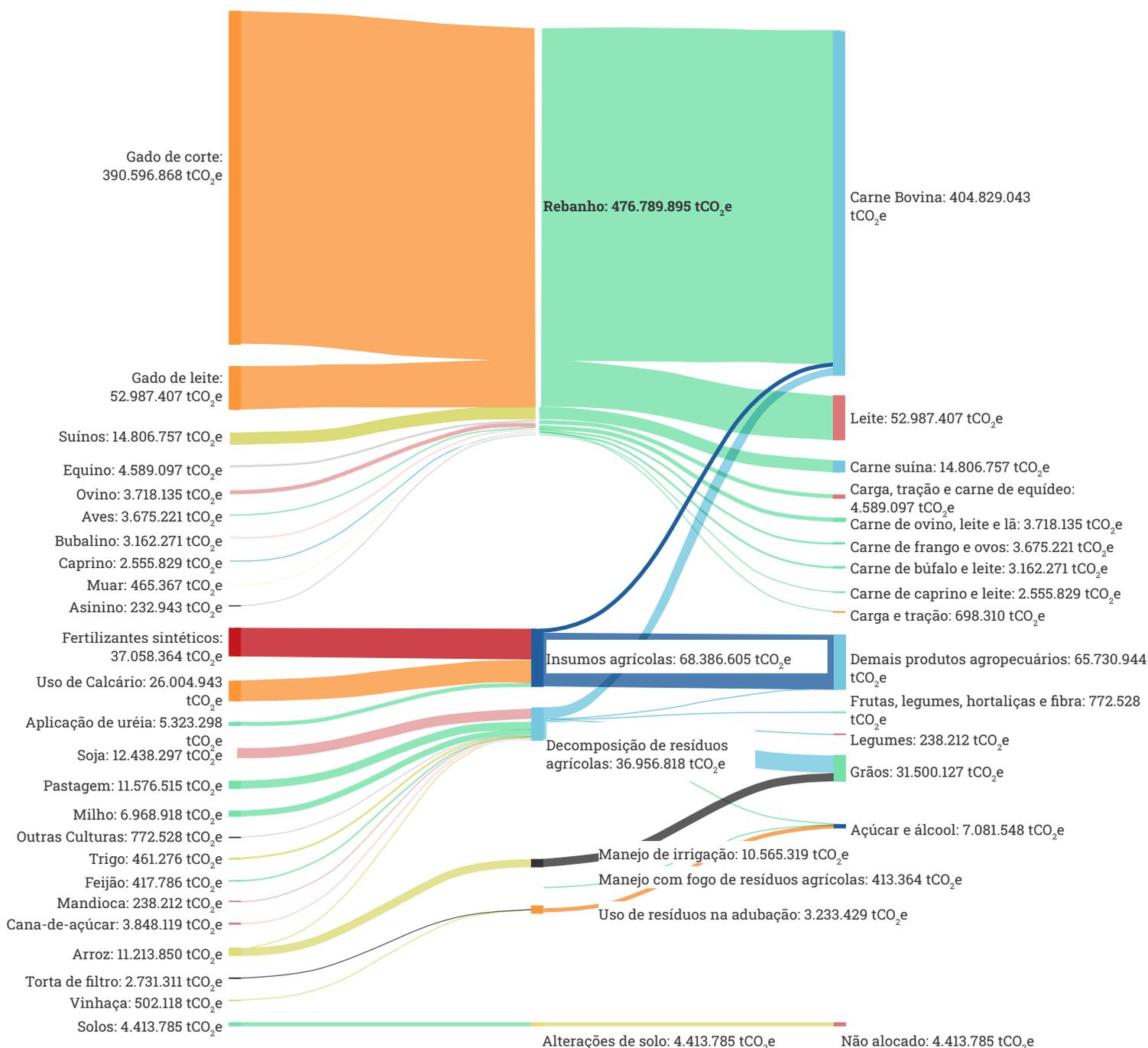




Tabela 10.

Emissões de GEE pelos produtos agropecuários gerados na etapa de produção dos Sistemas Alimentares entre os anos de 1990 e 2021.

Emissão por produto agropecuário	Tonelada de CO ₂ e por ano (tCO ₂ e/ano) - GWP AR5								% de participação
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2021
Carne bovina	267.231.994	293.002.844	309.055.900	371.189.680	366.154.595	373.481.802	391.642.632	404.829.043	67,4%
Demais produtos agropecuários	11.970.688	13.686.758	20.549.094	24.002.418	31.560.243	38.954.444	57.527.948	65.730.944	10,9%
Leite	63.779.952	69.139.364	60.501.777	68.565.338	75.572.568	69.804.915	53.134.608	52.987.407	8,8%
Grãos	13.704.646	17.900.049	17.043.420	19.722.460	22.934.793	29.061.545	31.217.252	31.500.127	5,2%
Carne Suína	10.779.793	11.709.592	9.748.376	10.458.435	11.489.850	13.863.438	14.377.382	14.806.757	2,5%
Açúcar e álcool	3.017.834	3.532.608	3.746.628	4.803.337	7.065.490	6.934.539	7.169.924	7.081.548	1,2%
Carga, tração e carne de equídeo	4.854.771	5.071.846	4.624.660	4.591.900	4.377.695	4.408.143	4.735.401	4.589.097	0,8%
Não alocado	2.782.248	2.821.998	2.880.298	4.573.482	4.501.758	4.358.664	4.413.785	4.413.785	0,7%
Carne de ovinos, leite e lã	3.613.631	3.310.811	2.672.784	2.819.571	3.143.718	3.330.740	3.733.768	3.718.135	0,6%
Carne de frango e ovos	1.454.631	1.862.720	2.097.738	2.434.821	2.985.190	3.198.866	3.564.549	3.675.221	0,6%
Carne de búfalo e leite	2.845.597	3.344.909	2.245.624	2.390.470	2.413.086	2.792.750	3.061.608	3.162.271	0,5%
Carne de caprino e leite	2.548.823	2.415.332	2.003.303	2.208.931	1.995.717	2.061.926	2.593.988	2.555.829	0,4%
Frutas, legumes, hortaliças e fibra	319.100	279.332	395.594	639.389	540.954	614.282	716.710	772.528	0,1%
Carga e tração	1.487.678	1.470.128	1.143.500	1.139.203	1.006.331	853.007	719.276	698.310	0,1%
Legumes	320.134	334.623	303.313	340.534	328.622	303.517	239.521	238.212	0,0%
Fibra e caroço	131.361	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
Total Geral	390.842.882	429.882.915	439.012.011	519.879.968	536.070.610	554.022.579	578.848.353	600.759.216	100,0%

O CARBONO NO SOLO: AS REMOÇÕES DO SETOR AGROPECUÁRIO



Além das emissões provenientes da produção agropecuária, o setor também é responsável por gerar remoções de carbono, estocando-o principalmente nos solos manejados. Essas remoções, provenientes da disseminação e emprego de práticas e tecnologias ABC (Agropecuária de Baixa Emissão de Carbono), desempenham função fundamental na busca por atender às metas climáticas do Acordo de Paris do país, assim como para guiar o setor cada vez na direção de uma produção de baixas emissões, de forma que os diferentes sistemas produtivos sejam capazes de estocar carbono e emitir cada vez menos gases de efeito estufa.

O SEEG realiza o exercício de estimar a contribuição do setor para as remoções nacionais, ao contabilizar as emissões e remoções provenientes do manejo de solos agropecuários, assim estimando o balanço de carbono pelo solo. Atualmente não há uma metodologia oficial e compatibilizada com o 4º Inventário Nacional que possibilite estimar o quanto o setor remove carbono, ao promover o incremento dos estoques de carbono pelo solo. Dessa forma, essa estimativa da mensuração do balanço de carbono pelo solo é determinante para guiar os esforços na busca pela mitigação das emissões e a adaptação dos sistemas produtivos.



Entre as emissões de carbono pelo solo, foram consideradas as geradas pelas áreas das lavouras ainda empregam o sistema de plantio convencional e as pastagens degradadas, enquanto as remoções são decorrentes das áreas das lavouras que empregam o conjunto de práticas que compõem o sistema de plantio direto (SPD), as pastagens bem manejadas, florestas plantadas (FP) e os sistemas integrados de lavoura-pecuária-florestas (ILPF).

Em 2021, o balanço de carbono no solo indicou haver uma remoção líquida de 138,5 MtCO₂. Essa remoção líquida resulta da somatória das emissões e remoções brutas, que totalizaram 252,4 MtCO₂ e 390,8 MtCO₂, respectivamente.

Das emissões brutas, cerca de 76,8% foram devidas às pastagens que se encontram em nível de degradação severo ou moderado (193,9 MtCO₂), ou seja, aquelas pastagens que são impactadas pela perda de vigor e qualidade, impactando a produtividade devido a baixa capacidade de sustentar uma lotação animal, sem conseguir gerar a quantidade necessária de alimento para atender o volume e demanda nutricional de forma contínua e com qualidade dos animais da produção pecuária. Já os 23,2% restantes foram pelas áreas das lavouras que ainda empregam o cultivo convencional como prática mais tradicional, totalizando 58,5 MtCO₂. Por essa prática de preparo e manejo do solo há o revolvimento das camadas superiores do solo por aração e gradagem, de modo

que o estoque de carbono presentes nessas camadas seja perdido, gerando emissões para a atmosfera.

Já as remoções, 51,3% foram provenientes das pastagens bem manejadas (200,3 MtCO₂), que contribuem com o aumento e manutenção do estoque de carbono no solo devido à adoção de boas práticas de manejo, assim gerando as remoções carbono da atmosfera com uma melhor cobertura desse solo. Logo em seguida, os sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF) foram responsáveis por 29,7% das remoções brutas, na medida que removeu 115,9 MtCO₂ ao considerar a remoção resultante do acúmulo de carbono no solo pelas áreas com rotação, consórcio ou sucessão pela integração de pecuária e lavoura. Com 17,3% das remoções brutas, as áreas com emprego das práticas do sistema de plantio direto (SPD), como revolvimento somente na linha ou cova de semeadura, a manutenção contínua de cobertura do solo, assim como a diversificação das espécies cultivadas por rotação e consórcio, resultou na remoção bruta de 67,5 MtCO₂. Por último, as florestas plantadas, contando junto com o componente florestas dos sistemas integrados ILPF, foram responsáveis pelos 7,1 MtCO₂ restantes, com 1,8% das remoções do setor pela etapa de produção.

A figura 25 traz para o ano de 2021 as emissões e remoções de carbono pelo solo estimadas para o setor agropecuário.

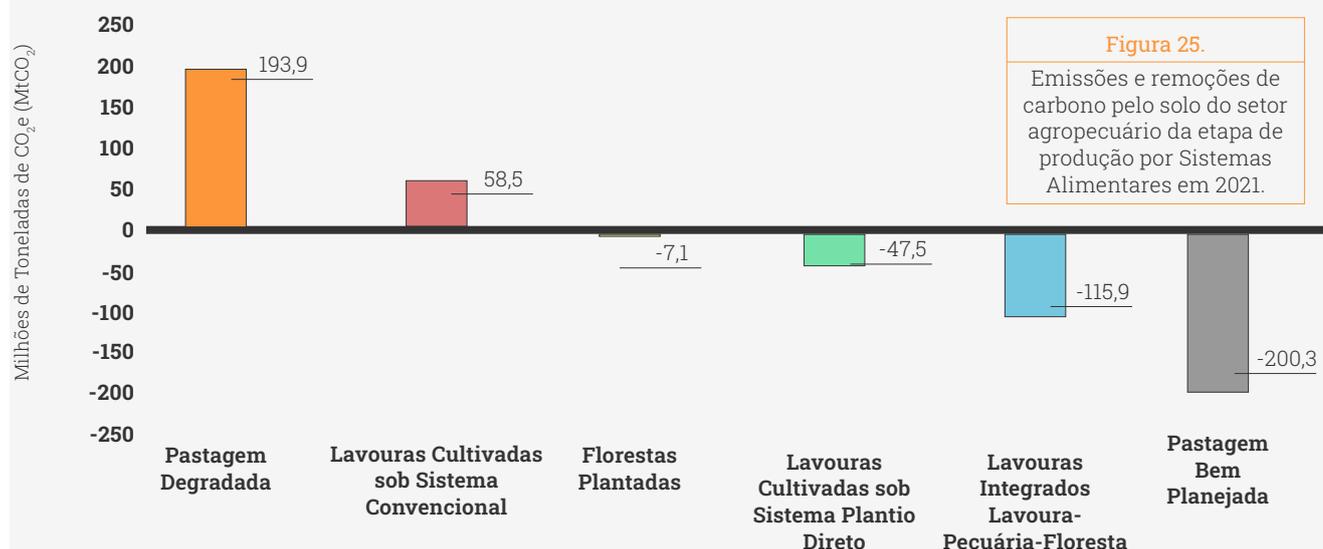


Figura 25.
Emissões e remoções de carbono pelo solo do setor agropecuário da etapa de produção por Sistemas Alimentares em 2021.



O balanço de carbono do solo de 2021, o maior até então estimado, corresponde a um aumento de 7,8% em comparação com os 128,4 MtCO₂ de remoção líquida do ano de 2020. Entre os anos de 2005 e 2010, o balanço de carbono indicava que haviam mais emissões do que remoções pelo solo, de modo que as emissões

líquidas eram de 62,9 MtCO₂ e 7,5 MtCO₂, respectivamente. Somente em 2011 que isso se inverteu, com o balanço indicando haver mais remoções do que emissões pelo solo, indicando a remoção líquida de 6,9 MtCO₂. A figura 26 traz as emissões e remoções de carbono pelo solo pela agropecuária.

Figura 26.

Emissões e remoções de carbono pelo solo do setor agropecuário da etapa de produção por Sistemas Alimentares entre 2005 e 2021.

- Pastagem Degradada
- Lavouras Cultivadas sob Sistema Convencional
- Pastagem Bem Manejada
- Florestas Plantadas
- Lavouras Cultivadas sob Sistema Plantio Direto
- Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta



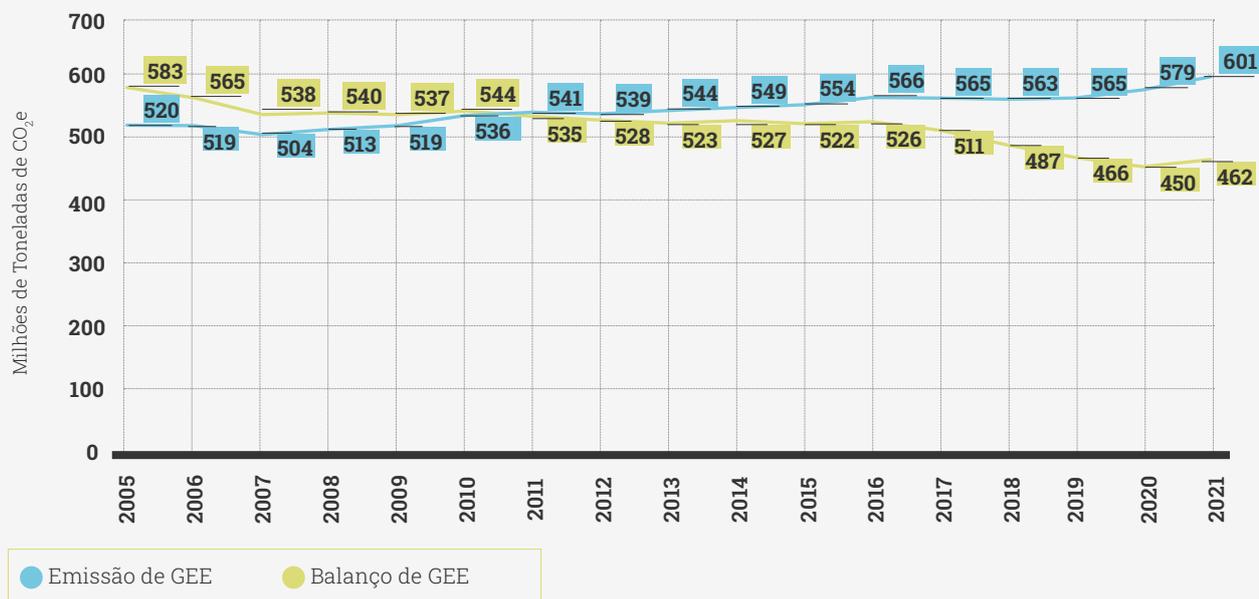
As principais fontes de emissão e remoção são pastagens. Em 2021, segundo o MapBiomass (Coleção 7), as pastagens com algum nível de degradação totalizaram 95,5 milhões de hectares, cerca de 63% da área total, enquanto as pastagens bem manejadas responderam pelos 37,2% restantes, com 56,6 milhões de hectares. Isso demonstra o potencial que há para a adoção de boas práticas agropecuárias, com o fomento e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, ainda mais em áreas já antropizadas, sendo fundamental a promoção de sistemas de produção agropecuários mais eficientes e produtivos, sem a necessidade de desmatamento de novas áreas.

Fazendo o balanço de GEE do setor agropecuário, contabilizando as emissões estimadas seguindo a metodologia do 4º Inventário Nacional, juntamente com as emissões e remoções de carbono pelo solo, nota-se como a mitigação desempenha função fundamental para o setor na busca por uma produção cada vez mais de baixas emissões. Exemplo disso é para o ano de 2021, em que o balanço de GEE resultou em uma emissão líquida de 462,3 MtCO₂e, cerca de 23% menor do que a emissão total reportada para o ano de 2021, os 600,8 MtCO₂e. Isso demonstra como o setor é capaz de reduzir suas emissões, sem afetar sua produtividade e produção. A figura 27 traz a estimativa do balanço de GEE do setor agropecuário.



Figura 27.

Balanco de GEE do setor agropecuario da etapa de producao por Sistemas Alimentares entre 2005 e 2021.



Nesse sentido, o atual Plano ABC+ (Plano Setorial para Adaptaçao à Mudança do Clima e Baixas Emissao de Carbono na Agropecuaria), já em seu terceiro ano, traz as novas tecnologias de baixas emissões, juntamente com as que já estavam presentes em seu primeiro ciclo, renomeadas de SPSabc (sistemas, práticas, produtos e processos de producao sustentaveis), sendo a base para o alcance da meta de mitigação de 1,11 GtCO₂e até o final de 2030.

Para que essa meta seja alcançada e comprovada, será necessário superar alguns desafios históricos enfrentados pelo plano

setorial, como o monitoramento confiável e acessível da adoção e expansão dos SPSabc, a compatibilização da metodologia de cálculo das estimativas de redução e remoção de acordo com a adotada pelo inventário nacional vigente e, por último, tornar as linhas de crédito responsáveis por financiar o pacote tecnológico do Plano ABC+ mais acessíveis, com parcelas cada vez maiores do Plano Safra destinadas ao RenovAgro (antigo Programa ABC), de forma cada vez mais recurso seja disponibilizado que essas soluçoes de fato cheguem a todos os tipos e tamanhos de produtores do país.



3.3.1

Emissões do setor de Agropecuária relacionadas à cadeia da carne bovina

Entre os principais produtos do setor agropecuário, sobre a abordagem de sistemas alimentares, nota-se o quanto que a produção de carne bovina responde por uma parcela significativa das emissões totais do setor, com a emissão de 404,8 MtCO₂e, a maior até então e respondendo por 67,4% das emissões totais do setor em 2021. Desde de 1990, nota-se uma constante tendência de aumento das emissões provenientes da etapa de produção da carne bovina, apresentando um aumento de 51,5% desde 1990, ano em que emitiu 267,2 MtCO₂e. A figura 28 traz as emissões associadas à produção de carne bovina.

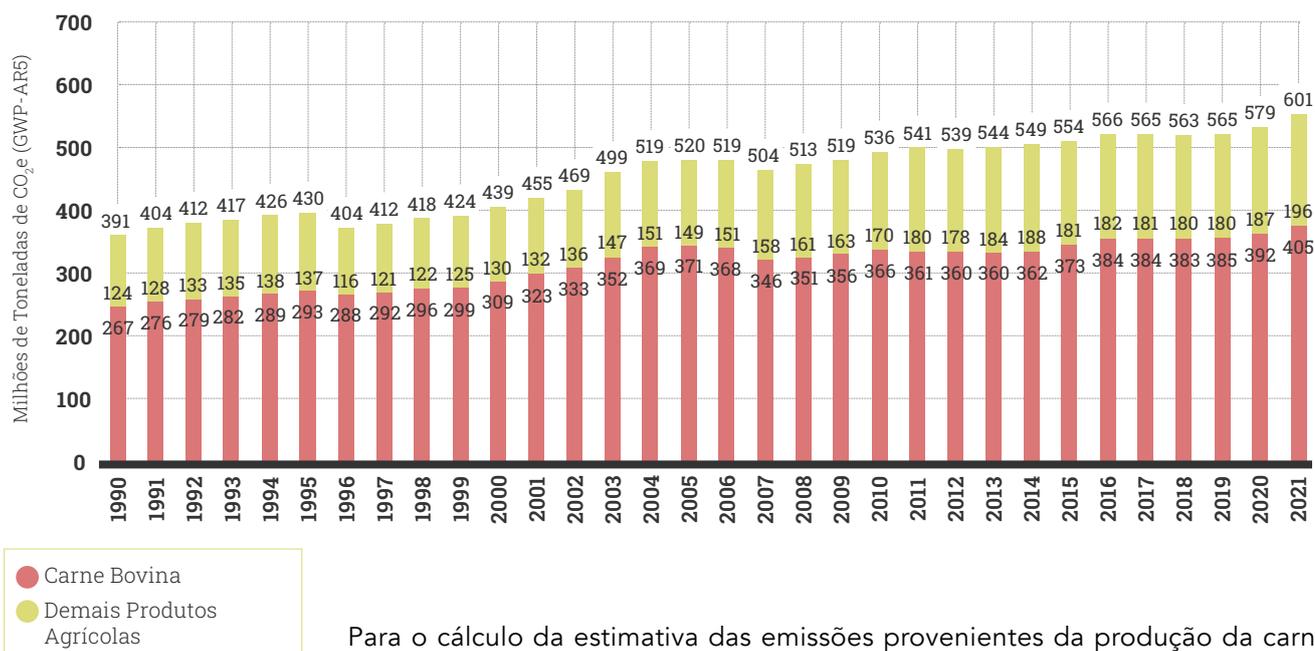


Figura 28.
Evolução das emissões de GEE da agropecuária para a produção de carne bovina pela etapa de produção entre 1990 e 2021.

Para o cálculo da estimativa das emissões provenientes da produção da carne bovina, foi considerada a alocação das emissões resultantes do rebanho de gado de corte, como a fermentação entérica, manejo de dejetos animais, os dejetos depositados em pastagens e dejetos usados como adubo. Também se buscou contabilizar as emissões pelos insumos e fontes vegetais usados na produção de carne bovina, como as parcelas das emissões de fertilizantes sintéticos nitrogenados, ureia, calcário e pela decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens.

Em relação aos gases de efeito estufa emitidos em 2021 na produção de carne bovina, o principal é o metano(12,1 MtCH₄), que corresponde a cerca de 84% da emissão total de produção da carne bovina quando convertido para a métrica CO₂e, totalizando 339,9 MtCO₂e. Em seguida vem o N₂O, com 15,4% das emissões totais (62,3 MtCO₂e), apesar de ser o gás com menor quantidade emitida, com cerca de 0,2 MtN₂O. Por último aparece o CO₂, com a emissão de 2,7 MtCO₂ e responsável por 0,7% das emissões associadas à produção de carne. Desde 1990, houve aumento da emissão de todos os GEE, com destaque para o CO₂, que mesmo com a baixa parcela das emissões totais, teve um aumento de quase três vezes. Enquanto para o N₂O e para o CH₄, os aumentos foram de 55,9% e 50%, respectivamente. A tabela 11 traz a emissão por GEE do setor de agropecuária provenientes da etapa de produção de carne bovina.



Tabela 11.

Evolução da emissão por tipo GEE da produção de carne bovina para o período de 1990 até 2021.

Gás	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
	Toneladas de GEE							
CO ₂	682.239	604.340	978.111	843.449	1.164.916	1.507.533	2.230.214	2.694.672
CH ₄	8.093.267	8.914.095	9.363.100	11.191.246	11.014.979	11.196.398	11.746.513	12.138.168
N ₂ O	150.711	161.524	173.249	215.062	213.473	220.661	228.340	234.965

Entre os subsetores mais emissores, o que responde pela maior parte das emissões é o de fermentação entérica (332,2 MtCO₂e), que correspondeu a 82,1% da produção de carne em 2021. Essas emissões não apenas respondem pela maior parte da emissão da carne, mas também pelo setor agropecuário, estando associadas ao tamanho do rebanho de gado de corte que é destinado para produção animal. Em seguida aparecem as emissões de solos manejados (63,9 MtCO₂e) e manejo de dejetos animais (8,7 MtCO₂e) com 15,8% e 2,2% de participação, respectivamente, sendo que desde 1990 cada um aumentou cerca de 57,8% e 73,3%. A figura 29 traz as emissões por subsetor da produção de carne bovina.

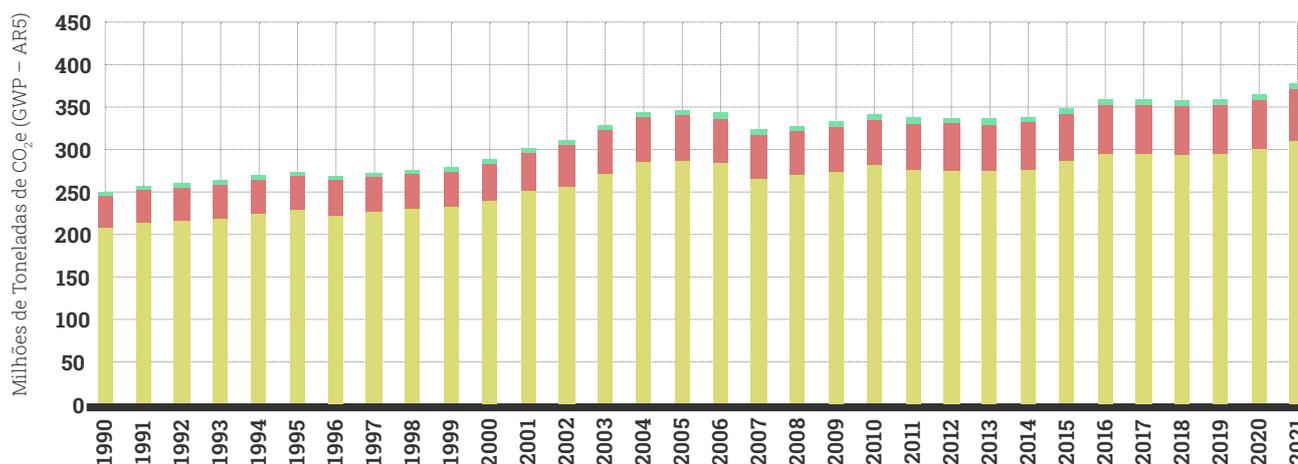


Figura 29.

Evolução das emissões de GEE por subsetor da agropecuária para a produção de carne bovina pela etapa de produção entre 1990 e 2021

- Fermentação entérica
- Solos manejados
- Manejo de Dejetos Animais

Dentro do subsetor de fermentação entérica, a principal fonte de emissão são os bovinos machos adultos não confinados (acima de 2 anos de idade), com 28,4% das emissões e totalizando 94,3 MtCO₂e. Logo em seguida, os bovinos jovens (entre 1 e 2 anos de idade) aparecem como a segunda fonte mais emissora, com 87,4 MtCO₂e e responsável por 26,3% das emissões. A terceira fonte emissora são as fêmeas adultas não confinadas (acima de 2 anos de idade), com 79 MtCO₂e e 23,8% das emissões. Depois aparecem os bezerros (abaixo de 1 ano de idade), os touros (acima de 2 anos de idade) e bovinos confinados (acima de 2 anos de idade), com 14,3%, 3,7% e 3,6% de participação, respectivamente. Para todos os tipos de gado de corte houve aumento das emissões, com destaque para os bovinos confinados, que desde 1990 (1 MtCO₂e) teve um salto de mais de onze vezes, alcançando 11,9 MtCO₂e em 2021.



Em relação ao subsetor de solos manejados, os bovinos machos adultos não confinados também foram em 2021 a fonte mais emissora, com 15,8 MtCO₂e e 24,8% do subsetor. Em seguida, aparecem os bovinos jovens (14,4 MtCO₂e), sendo mais uma vez a segunda fonte mais emissora, com 22,5%. A terceira fonte mais emissora é resultante da decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens (11 MtCO₂e), sendo a primeira fonte que não seja da pecuária a figurar entre as principais emissões, respondendo por 17,2%. Depois novamente aparecem as fontes de pecuária, pelo rebanho de fêmeas adultas não confinadas (9,3 MtCO₂e), bezerras (6,7 MtCO₂e) e touros (2,8 MtCO₂e), com 9,3%, 6,7% e 2,8%, respectivamente. Depois aparece o uso de calcário, com 2,6 MtCO₂e e 4,1% das emissões, sendo a primeira fonte associada com o uso de insumos agrícolas empregados para a produção de carne bovina. Como fonte de pecuária menos emissora, os bovinos confinados foram responsáveis por 0,7 MtCO₂e, com a parcela de 1,1%.

Por último, aparecem as emissões dos demais insumos, como os fertilizantes sintéticos nitrogenados (0,8%) e ureia (0,1%), que juntos, responderam por cerca de 0,6 MtCO₂e das emissões desse subsetor. Novamente todas as fontes de emissão tiveram aumento desde 1990, tendo para o ano de 2021 os maiores valores até então, especialmente a aplicação de ureia e os fertilizantes sintéticos nitrogenados, que mesmo respondendo por uma pequena parcela das emissões, apresentaram aumento de aproximadamente onze e dez vezes dentro desse período.

Por último, o subsetor de manejo de dejetos animais também teve como fonte mais emissora o rebanho de machos adultos não confinados (2 MtCO₂e), com 23% das emissões, tendo os bovinos jovens (21,4%) também como segunda fonte mais emissora, com a emissão de 1,9 MtCO₂e. Em seguida aparecem os rebanhos fêmeas adultas não confinadas (19,3%), confinados (18,7%), bezerras (14,5%) e touros (3%), com 1,7 MtCO₂e, 1,6 MtCO₂e, 1,3 MtCO₂e e 0,3 MtCO₂e, respectivamente. Mais uma vez todas as fontes tiveram aumento de suas emissões, em especial os bovinos confinados, com mais de oito vezes desde 1990. A tabela 12 traz as emissões das fontes de cada subsetor contabilizado para as emissões da produção de carne bovina.



Tabela 12.

Emissões de GEE por fonte dos subsetores da produção de carne bovina pelo setor agropecuário entre os anos de 1990 e 2021.

Fontes de emissão por subsetor	Tonelada de CO ₂ e por ano (tCO ₂ e/ano) – GWP AR5								% de participação
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2021
Fermentação Entérica	221.693.088	244.121.425	256.365.700	306.373.570	301.589.517	306.537.024	321.481.956	332.172.783	82,1%
Bovino Macho Adulto Não Confinado	60.591.829	65.925.611	70.624.345	85.146.222	82.964.586	86.153.242	91.118.859	94.284.774	28,4%
Bovino Jovem	66.157.416	72.237.390	73.480.587	86.476.024	84.491.021	83.615.916	84.695.567	87.402.746	26,3%
Bovino Fêmea Adulto Não Confinado	49.603.818	55.913.171	60.161.781	72.815.057	72.217.004	72.663.482	76.704.193	79.007.991	23,8%
Bovino Bezerro	35.604.708	38.833.513	38.824.696	46.103.371	45.431.009	45.374.403	45.944.599	47.418.820	14,3%
Bovino Touro	8.699.032	9.504.886	9.667.304	11.623.977	11.462.881	11.481.593	11.723.640	12.155.243	3,7%
Bovino Adulto Confinado	1.036.285	1.706.854	3.606.987	4.208.920	5.023.016	7.248.388	11.295.098	11.903.208	3,6%
Solos Manejados	40.498.717	43.207.628	46.573.895	57.469.472	57.297.879	59.343.785	61.755.298	63.921.839	15,8%
Bovino Macho Adulto Não Confinado	9.466.756	10.306.391	11.449.474	14.161.504	13.841.747	14.480.749	15.299.997	15.834.512	24,8%
Bovino Jovem	9.452.769	10.321.493	10.861.164	13.238.520	13.413.698	13.785.336	13.963.332	14.409.651	22,5%
Pastagem	9.141.243	8.837.897	8.896.077	11.608.423	11.281.008	11.234.318	11.032.247	10.997.689	17,2%
Bovino Fêmea Adulto Não Confinado	5.522.519	6.217.267	6.914.363	8.564.802	8.365.414	8.644.807	9.048.836	9.321.113	14,6%
Bovino Bezerro	4.354.061	4.748.908	5.004.470	6.107.759	6.190.647	6.364.785	6.444.768	6.651.561	10,4%
Bovino Touro	1.749.878	1.911.982	2.020.419	2.494.137	2.526.956	2.602.379	2.657.241	2.755.067	4,3%
Uso de Calcário	674.948	584.907	945.042	810.294	1.130.018	1.461.619	2.160.796	2.600.494	4,1%
Bovino Adulto Confinado	83.342	137.225	215.670	252.485	302.240	441.569	680.765	717.760	1,1%
Fertilizantes Sintéticos	45.911	122.124	234.147	198.394	211.253	282.308	397.898	539.814	0,8%
Aplicação de Ureia	7.291	19.433	33.069	33.154	34.898	45.915	69.418	94.178	0,1%
Manejo de Dejetos Animais	5.040.188	5.673.791	6.116.306	7.346.638	7.267.199	7.600.993	8.405.378	8.734.421	2,2%
Bovino Macho Adulto Não Confinado	1.330.708	1.462.246	1.570.938	1.858.577	1.814.125	1.844.906	1.938.172	2.011.575	23,0%
Bovino Jovem	1.473.287	1.617.942	1.594.447	1.914.387	1.790.693	1.766.348	1.808.465	1.873.364	21,4%
Bovino Fêmea Adulto Não Confinado	1.072.357	1.227.309	1.315.080	1.598.085	1.557.419	1.536.459	1.629.315	1.684.325	19,3%
Bovino Adulto Confinado	176.224	291.095	503.071	583.330	695.928	1.008.022	1.554.115	1.637.510	18,7%
Bovino Bezerro	791.443	866.922	921.527	1.142.867	1.162.548	1.199.192	1.222.365	1.264.600	14,5%
Bovino Touro	196.169	208.276	211.243	249.393	246.487	246.066	252.947	263.047	3,0%
Total Geral	267.231.994	293.002.844	309.055.900	371.189.680	366.154.595	373.481.802	391.642.632	404.829.043	100,00%

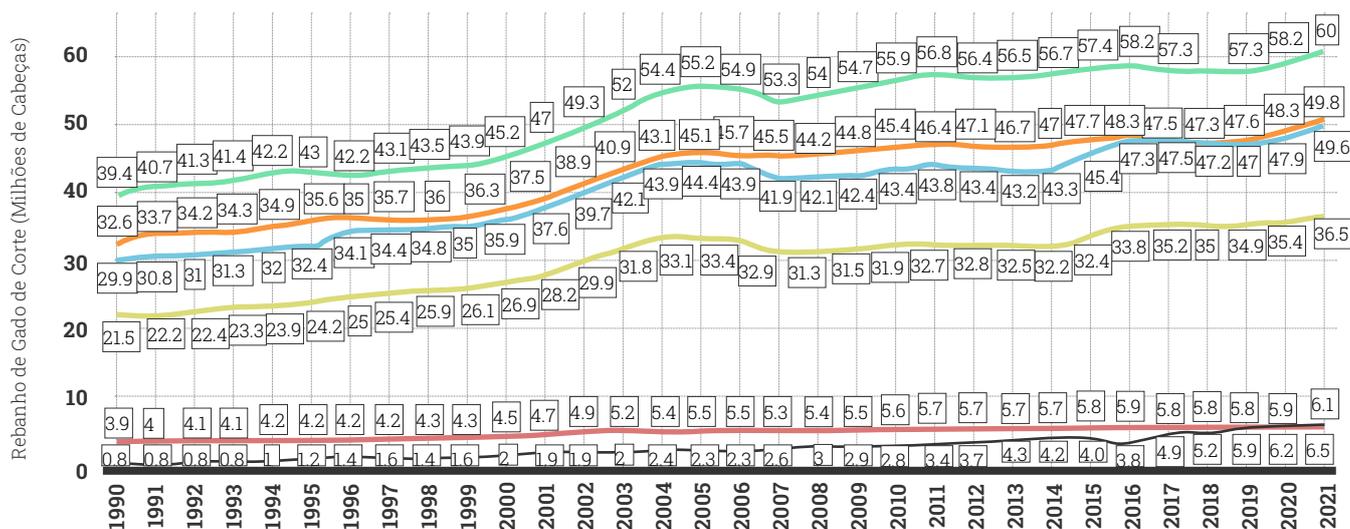


Ao se analisar por fonte de emissão, nota-se o quanto o rebanho de gado de corte concentra a maior parte das emissões provenientes da produção de carne “dentro da porteira”, com suas emissões dependendo da quantidade do rebanho da produção de bovinos de corte, assim como da eficiência desse rebanho em relação ao ganho de massa e tempo de abate, considerando a emissão gerada por tipo de categoria animal (sexo e idade).

Em 2021, o rebanho de gado de corte alcançou a marca de 208,7 milhões de cabeças, o maior até então registrado, com aumento de 63% em relação ao ano de 1990, quando o rebanho era de 128 milhões de cabeças. Desde então, todas as categorias de rebanho tiveram aumento, sendo que os bovinos jovens representaram a maior parte do rebanho (28,8%), com praticamente 60 milhões de cabeças em 2021. Logo em seguida aparecem os bezerros, com 23,9% do total e totalizando 49,8 milhões de cabeças. Ou seja, pouco mais da metade do rebanho nacional de gado de corte é composto por um rebanho com até 2 anos de idade. Outra parte significativa do rebanho são os bovinos machos e fêmeas não confinados, respondendo por 23,8% e 17,5%, respectivamente. Depois aparecem os bovinos adultos confinados, com 6,5 milhões de cabeças, sendo o rebanho com o maior aumento desde 1990, com cerca de sete vezes. Por último, o rebanho de touros, correspondendo pelos 2,9% restantes e totalizando 6,1 milhões de cabeças. A figura 30 traz a evolução do rebanho de gado de corte.

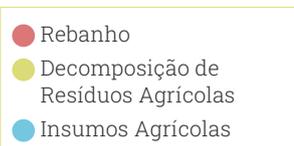
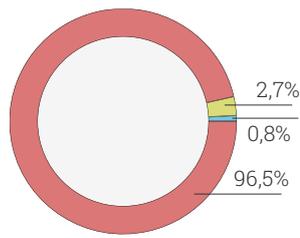
Figura 30.

Evolução dos tipos de rebanho de gado de corte entre 1990 e 2021.



- Bovino Jovem
- Bovino Bezerro
- Bovino Macho Adulto não confinado
- Bovino Fêmea Adulta não confinado
- Bovino Adulto confinado
- Bovino Touro

Pode-se notar que mesmo o rebanho de bovinos jovens sendo maior, a principal fonte animal emissora é o rebanho de machos adultos não confinados. Essa análise das emissões da produção de carne por cada fonte permite compreender em quais fontes se concentram a maior parte das emissões decorrentes da etapa de produção “dentro da porteira”.



Desde 1990, as emissões do rebanho aumentaram 51,8%, sendo que o rebanho de gado de corte aumentou 63%. Assim, somente o rebanho de gado de corte, respondeu por 96,5% das emissões da produção de carne, com a emissão total de 390,6 MtCO₂e em 2021. Desse total, 28,7% foi pelo rebanho de machos adultos não confinados (112,1 MtCO₂e), seguido pelos jovens (26,5%) e fêmeas adultas não confinadas (23,0%), com 103,7 MtCO₂e e 90 MtCO₂e, respectivamente. Os bezerros (55,3 MtCO₂e), touros (15,3 MtCO₂e) e os confinados (14,2 MtCO₂e) responderam pelos 21,7% restantes.

Com 2,7% das emissões totais, a decomposição dos resíduos agrícolas das pastagens foi responsável pela emissão de 11,0 MtCO₂e, tendo aumentado cerca de 20,3% desde 1990. Já em relação aos insumos agrícolas empregados nas pastagens, suas emissões responderam por apenas 0,8%, mesmo tendo aumentado mais de três vezes desde 1990. A principal fonte de emissão foi o uso de calcário (2,6 MtCO₂e), com 80,4% das emissões. Fechando as fontes de emissões, o uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados foi responsável por 16,7% das emissões em 2021, com a emissão de 0,5 MtCO₂e e apresentando aumento de quase três vezes desde 1990. Seguindo a mesma tendência de aumento de consumo de insumos agrícolas, o uso da ureia teve aumento de mais de dez vezes de suas emissões, mesmo que tenha respondido por apenas 2,9% das emissões, com o total de 0,1 MtCO₂e. A tabela 13 traz as emissões agrupadas por cada fonte de cada atividade emissora da produção de carne bovina.

Tabela 13.

Emissões de GEE por fonte das atividades da produção de carne bovina pelo setor agropecuário entre os anos de 1990 e 2021.

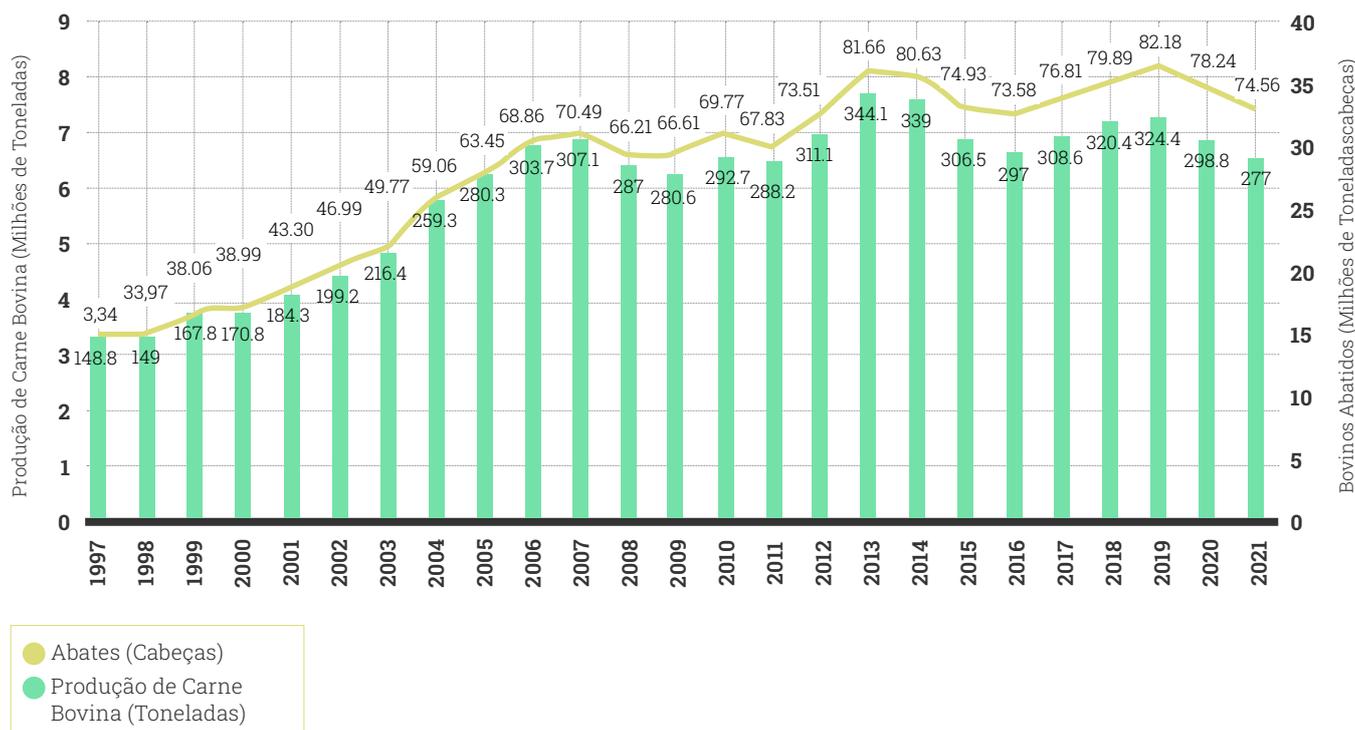
Fontes de emissão por atividade	Tonelada de CO ₂ e por ano (tCO ₂ e/ano) – GWP AR5									% de participação 2021
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2021	
Rebanho	257,362,601	283,438,483	298,947,565	358,539,415	353,497,418	360,457,642	377,982,274	390,596,868	96,5%	
Bovino Macho Adulto Não Confinado	71,389,293	77,694,249	83,644,757	101,166,302	98,620,457	102,478,898	108,357,028	112,130,861	28,7%	
Bovino Jovem	77,083,471	84,176,825	85,936,197	101,628,930	99,695,412	99,167,599	100,467,364	103,685,762	26,5%	
Bovino Fêmea Adulto Não Confinado	56,198,694	63,357,746	68,391,224	82,977,944	82,139,837	82,844,748	87,382,344	90,013,429	23,0%	
Bovino Bezerro	40,750,212	44,449,344	44,750,693	53,353,996	52,784,204	52,938,380	53,611,732	55,334,981	14,2%	
Bovino Touro	2,840,580	3,709,373	5,815,269	6,921,080	7,808,607	10,219,907	14,521,492	15,257,298	3,9%	
Bovino Adulto Confinado	9,100,350	10,050,946	10,409,425	12,491,162	12,448,901	12,808,111	13,642,314	14,174,537	3,6%	
Decomposição de Resíduos Agrícolas	9,141,243	8,837,897	8,896,077	11,608,423	11,281,008	11,234,318	11,032,247	10,997,689	2,7%	
Pastagem	9,141,243	8,837,897	8,896,077	11,608,423	11,281,008	11,234,318	11,032,247	10,997,689	100,0%	
Insumos Agrícolas	728,150	726,464	1,212,258	1,041,842	1,376,169	1,789,842	2,628,112	3,234,486	0,8%	
Uso de Calcário	674,948	584,907	945,042	810,294	1,130,018	1,461,619	2,160,796	2,600,494	80,4%	
Fertilizantes Sintéticos	45,911	122,124	234,147	198,394	211,253	282,308	397,898	539,814	16,7%	
Aplicação de Ureia	7,291	19,433	33,069	33,154	34,898	45,915	69,418	94,178	2,9%	
Total Geral	267,231,994	293,002,844	309,055,900	371,189,680	366,154,595	373,481,802	391,642,632	404,829,043	100,00%	



Em relação aos abates de bovinos e a produção de carne proveniente desses abates, nota-se o aumento de ambos desde 1997, segundo os dados disponibilizados pela Pesquisa Trimestral de Abates do IBGE. Em 2021 foram abatidos 27,7 milhões de cabeças e gerando uma produção de carne de 7,46 milhões de toneladas de carne. A quantidade de abates foi a menor desde 2004, quando os abates foram de 25,9 milhões de cabeças, já a produção de carne só foi maior do que a de 2016, quando foram geradas 7,36 milhões de toneladas. A figura 31 traz a evolução da produção de carne bovina e a quantidade de bovinos abatidos.

Figura 31.

Evolução da quantidade de carne bovina produzida e de abates entre 1997 e 2021.



Desde 1997, os abates tiveram o salto de 86,1%, enquanto a produção de carne aumentou 123,6%, mesmo que para os anos de 2020 e 2021 tenha ocorrido uma queda para ambos. Assim, quando se estima a produtividade da produção de carne gerada por animal abatido, nota-se como cada vez mais os animais abatidos resultam em quantidades maiores de carne, elevando assim a produtividade do setor. Exemplo disso é a produtividade em 1997, quando cada abate gerava cerca de 224 kg de carne, sendo que em 2021 a produtividade foi para 269,1 kg de carne/cabeça, sendo a maior até então obtida e representando um aumento de 20,1%. A figura 32 traz a evolução da produtividade da produção de carne por abate de bovinos.

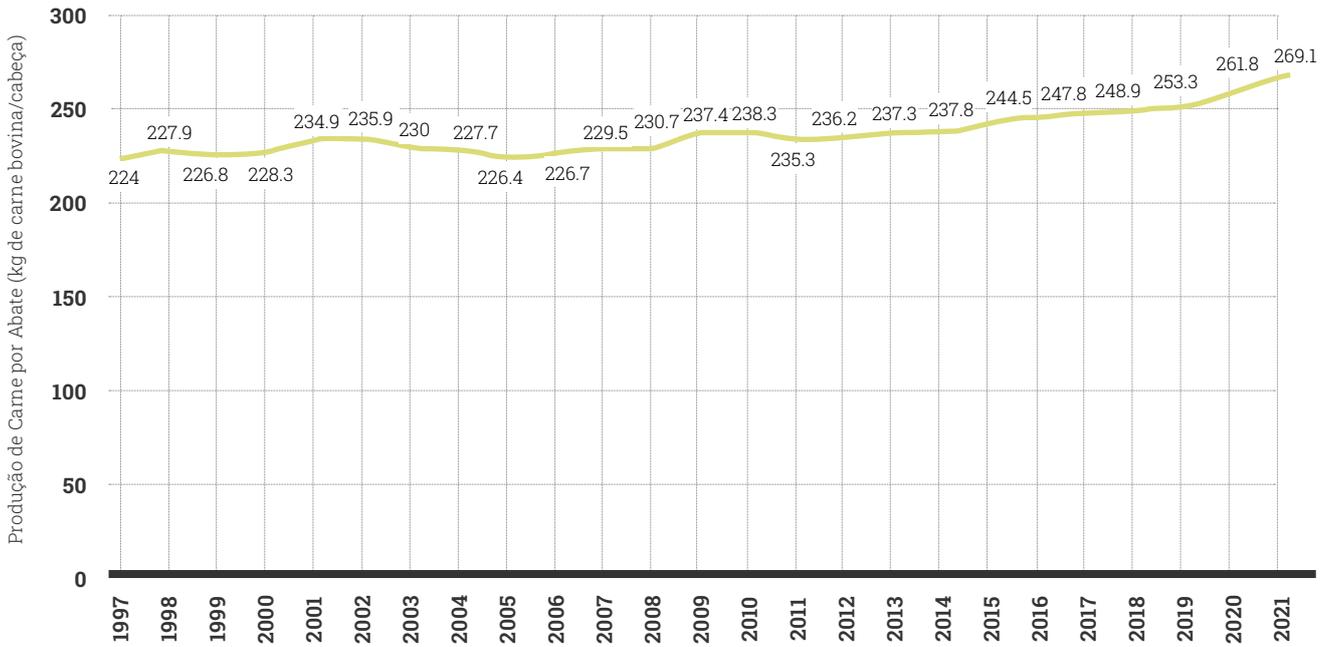


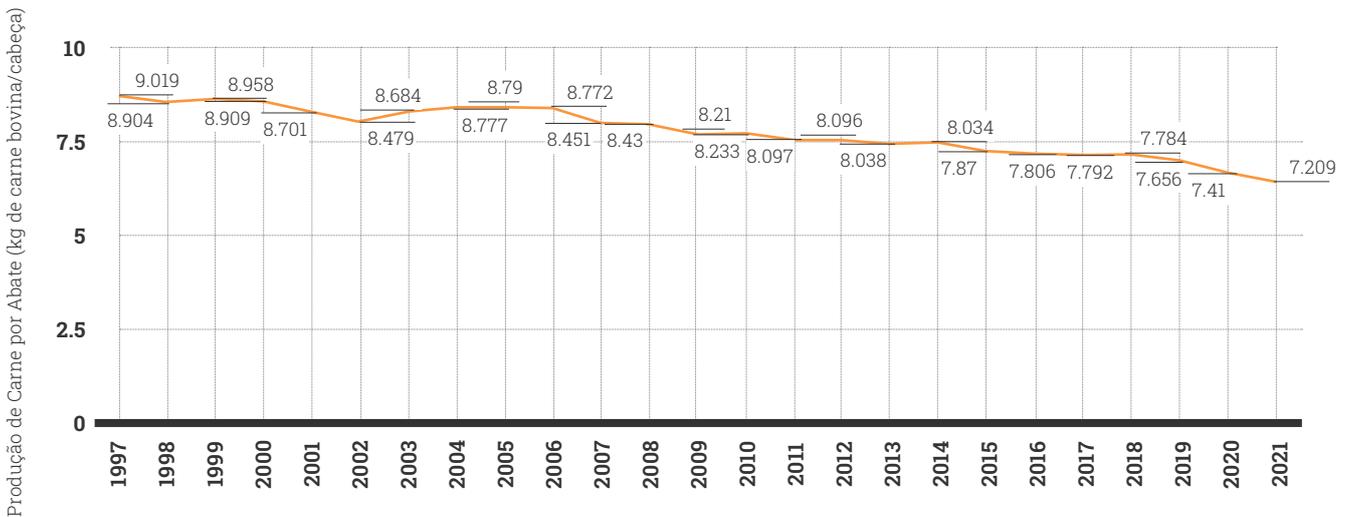
Figura 32.

Evolução da produtividade da carne bovina por abate entre 1997 e 2021.

Quando analisadas conjuntamente, a produção de carne bovina e as emissões resultantes da produção do setor agropecuário, pode-se obter uma estimativa geral da intensidade da emissão de carne brasileira, resultante do abate do rebanho que corresponde a essa produção. Assim, considerando a série histórica de abates, a evolução do rendimento de carne por abate e estimando uma emissão média de GEE pela etapa de produção agropecuária por animal, estima-se que a intensidade das emissões da carne bovina no Brasil em 2021 foi de 7,21 kgCO₂e/kg de carne, sendo a menor intensidade até então obtida, indicando os ganhos de eficiência do setor ao conseguir obter animais abatidos gerando mais carne e ao mesmo tempo, com emissões menores por unidade de produto. A figura 33 traz a intensidade da emissão da produção de carne bovina.

Figura 33.

Evolução da intensidade de emissão de GEE da carne bovina correspondente ao rebanho abatido entre 1997 e 2021.



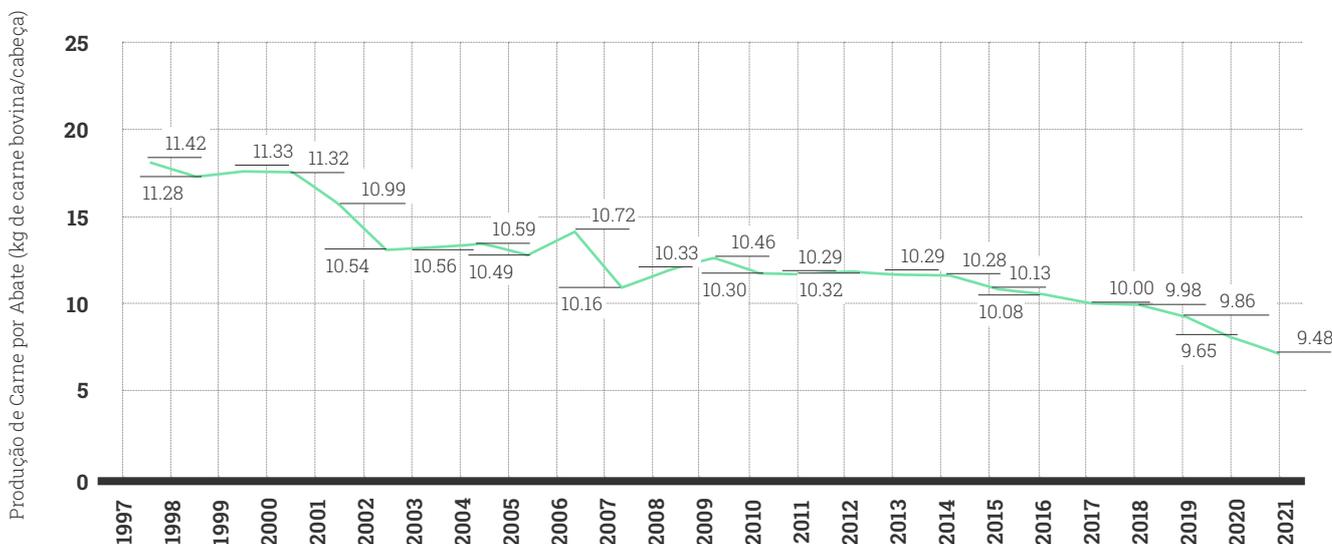


Caso sejam consideradas todas as emissões geradas por todos os demais rebanhos de gado de corte que ainda não foram abatidos, que se encontram em etapas de cria, recria e engorda antes do abate, juntamente com a estimativa de toda carne bovina potencial aproveitável desse animais, estima-se que a intensidade para o ano de 2021 seja de 9,48 kgCO₂e/kg de carne. Essa também foi a menor intensidade geral até então obtida, sendo cerca de 17% menor que a de 1997, quando era de 11,42 kgCO₂e/kg de carne. Ou seja, considerando somente as emissões de GEE resultantes da etapa de produção de agropecuária, a carne bovina brasileira tem alcançado ao longo tempo melhores indicadores de produtividade.

Mesmo com o aumento do rebanho de gado de corte, o que leva ao aumento das emissões absolutas por essa fonte de emissão, os níveis de abate e produção de carne têm levado a um maior rendimento de carne por abate. Isto para as emissões implica em uma redução de emissão por unidade de produto, indicando como a otimização da produção e busca cada vez mais elevada por eficiência na produção, possivelmente com rebanhos menores e gerando mais carne por unidade abatido, pode continuar atendendo a demanda por esse produto como emissões relativamente menores se comparada com sistemas produtivos menos eficientes. A figura 34 traz a intensidade da emissão da produção de carne bovina considerando todo o rebanho de gado de corte e a produção de carne potencial desse rebanho.

Figura 34.

Evolução da intensidade de emissão de GEE da carne bovina potencial correspondente a todo rebanho de gado de corte entre 1997 e 2021.





3.4

Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP)

Nesta seção são apresentados, conjuntamente, os resultados das emissões estimadas para os setores de Energia e de Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP), dada a convergência entre as suas atividades emissoras.

Conforme apresentado na seção 2.3, as emissões dos setores de Energia e PIUP associadas a sistemas alimentares ocorrem ao longo de toda cadeia de produção e consumo de alimentos, conforme as seguintes atividades: produção de fertilizantes e agroquímicos; consumo de energia em propriedades agropecuárias; processamento industrial de alimentos; produção de materiais para embalagens alimentares; transporte e distribuição de alimentos; comercialização e consumo público; e uso doméstico de equipamentos (geladeiras e fogões)⁴.

Em 2021, as atividades do setor de Energia alocadas em sistemas alimentares foram responsáveis por 100,1 milhões de toneladas de CO₂e (GWP-AR5), o que representa mais de um quinto (23%) do total nacional emitido devido ao uso ou à produção de combustíveis e eletricidade. Já as atividades de PIUP alocadas em sistemas alimentares alcançaram um montante mais tímido: 4 milhões de toneladas de CO₂e, o que é equivalente a 4% do total emitido no setor de PIUP em 2021.

O diagrama a seguir apresenta, da esquerda para a direita, o total emitido pelo Brasil (em 2021) nos setores de Energia e PIUP distribuído em seus respectivos subsetores, culminando na divisão de emissões entre sistemas alimentares e outras cadeias econômicas. Vale observar que os subsetores emissores estão identificados de acordo com a nomenclatura utilizada no SEEG. Todas as atividades específicas relacionadas a sistemas alimentares, listadas no segundo parágrafo deste tópico, estão contempladas dentro de tais subsetores⁵, conforme a tabela 14 que acompanha o diagrama.

Tabela 14.

Enquadramento das atividades relacionadas a sistemas alimentares nos respectivos subsetores de Energia e PIUP em que estão contidas.

Atividade específica de sistemas alimentares	Subsetor do SEEG
Consumo de energia em propriedades agropecuárias	Agropecuário
Comercialização e consumo público	Comercial e Público
Uso doméstico de equipamentos (geladeiras e fogões)	Residencial
Uso de eletricidade todas as atividades específicas de sistemas alimentares possuem uma parcela de emissões indiretas provenientes do consumo de energia elétrica	Geração de Eletricidade
Produção de fertilizantes e agroquímicos; Produção de materiais para embalagens alimentares; e Processamento industrial de alimentos	Industrial
Transporte e distribuição de alimentos	Transportes
Uso de equipamentos de refrigeração as seguintes atividades específicas de sistemas alimentares possuem uma parcela de emissões de HFCs provenientes do uso de equipamentos de refrigeração: Comercialização e consumo público; Uso doméstico de equipamentos (geladeiras e fogões); e Transporte e distribuição de alimentos	Emissões de HFCs

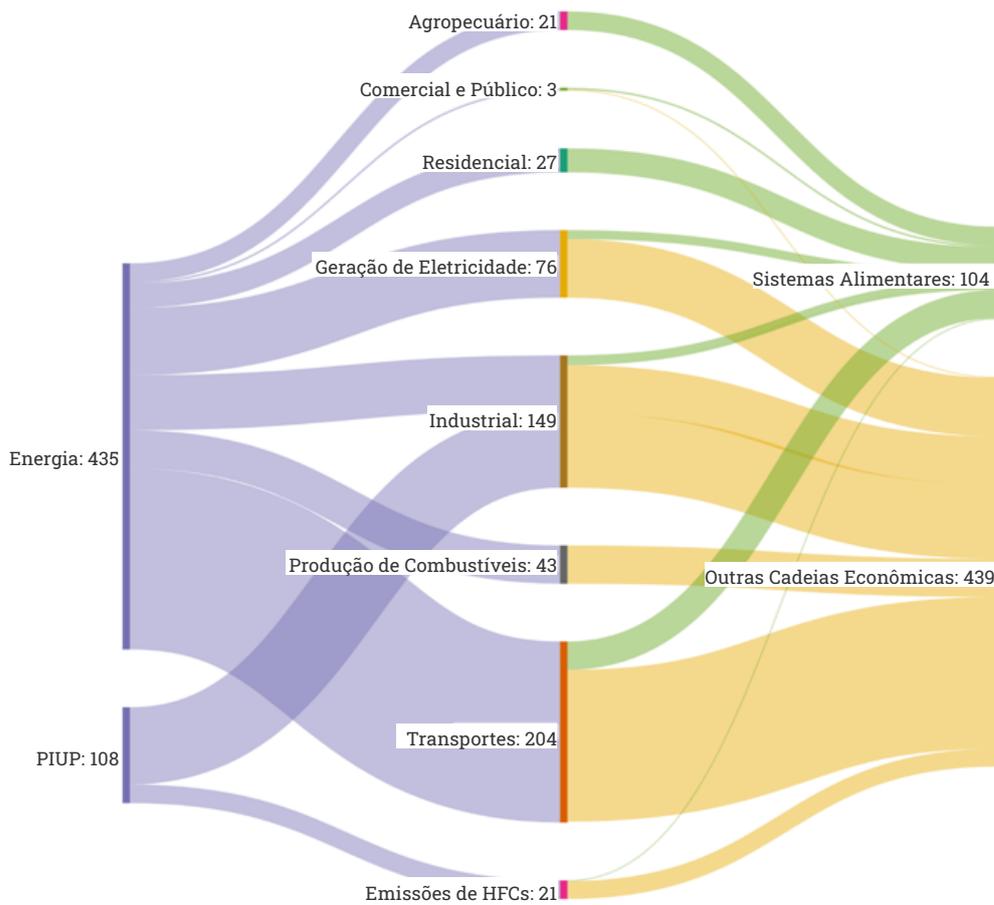
⁴ As atividades de Consumo de energia em propriedade agropecuárias e de Processamento industrial de alimentos produzem emissões apenas dentro do setor de Energia. Já as demais atividades geram emissões tanto no setor de Energia quanto no de Processos Industriais (PIUP).

⁵ O subsetor de Produção de Combustíveis é o único que não contém nenhuma atividade específica de sistemas alimentares.



Figura 35.

Distribuição proporcional das emissões dos setores de Energia e PIUP em sistemas alimentares - valores referentes ao ano de 2021, apresentados em milhões de toneladas de CO₂e.



O próximo gráfico detalha as emissões de Energia e PIUP para as atividades específicas de sistemas alimentares. Além disso, a figura apresenta a participação percentual de cada uma dessas atividades em relação ao total de emissões de sistemas alimentares estimado para os setores de Energia e PIUP.

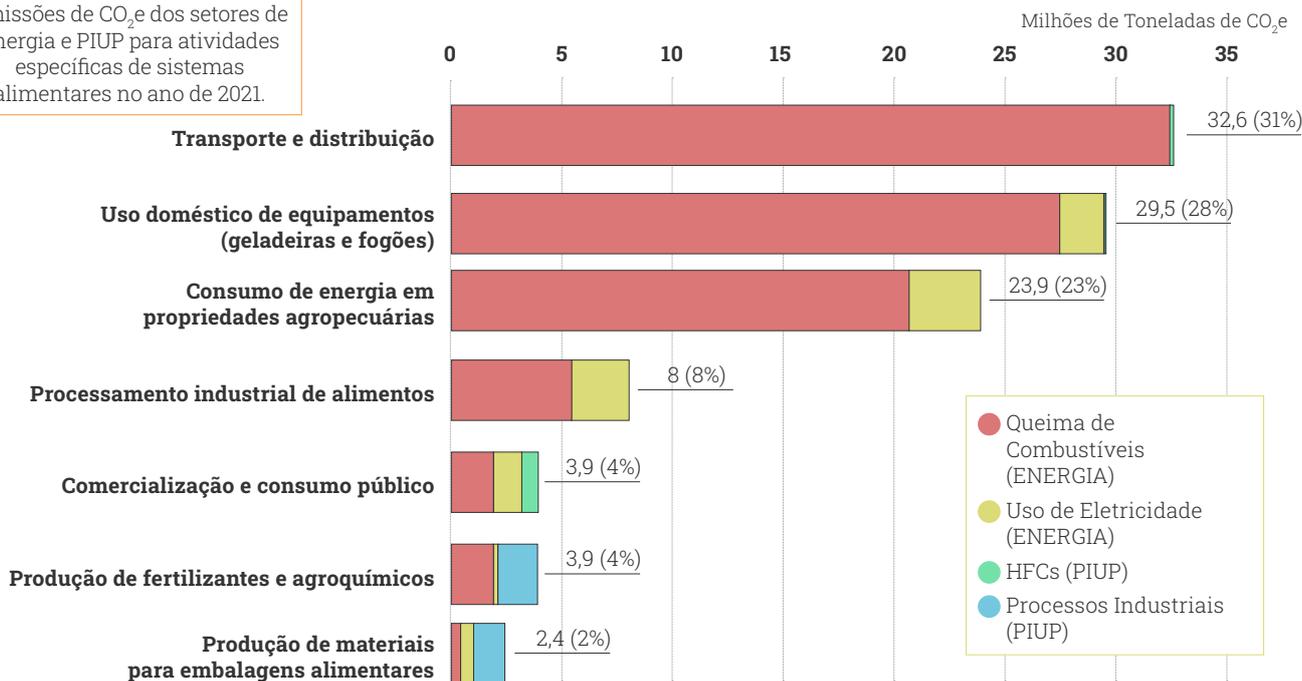
Assim como ocorre na economia brasileira como um todo, o transporte é a principal fonte de emissões relacionadas a sistemas alimentares nos setores de Energia e PIUP. Das 104,1 milhões de toneladas de CO₂e emitidas nesses setores, 32,6 milhões (31%) ocorreram devido à atividade de transportes, essencialmente como resultado da queima de combustíveis (apesar de também existir uma parcela diminuta de emissões resultante do consumo de eletricidade em locomotivas e do uso de gases HFCs na refrigeração de caminhões frigoríficos).

Dada essa importância das emissões de transportes, as estimativas relacionadas aos diferentes produtos carregados em cada modo de transporte de cargas (rodoviário, ferroviário e hidroviário) estão destacadas no próximo gráfico. Em particular, percebe-se que a distribuição de carne bovina tem baixa participação no total emitido na atividade (2%).



Figura 36.

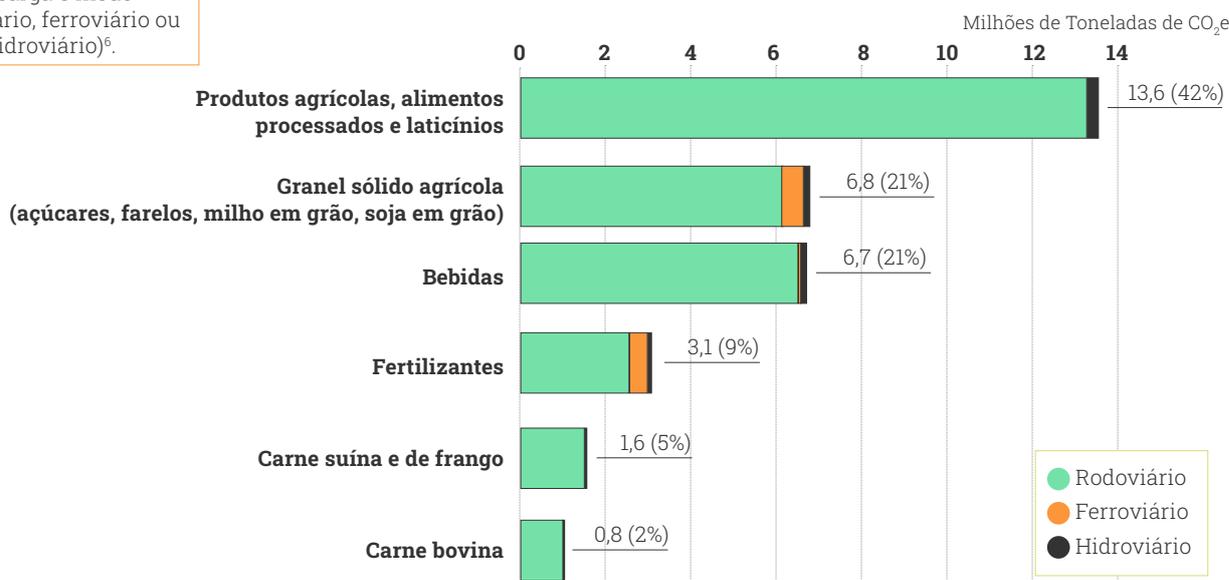
Emissões de CO₂e dos setores de Energia e PIUP para atividades específicas de sistemas alimentares no ano de 2021.



Voltando à figura 36, além dos transportes, as atividades de uso doméstico de fogões e geladeiras para cocção ou conservação de alimentos e de consumo de energia em propriedades agropecuárias também se destacam, emitindo 29,5 e 23,9 MtCO₂e, respectivamente. Chama atenção o fato de quase um terço das emissões provenientes do Uso doméstico de equipamentos (geladeiras e fogões) ser resultante da queima de lenha (figura 38), um combustível que, quando utilizado domesticamente em grandes volumes pelas famílias, pode ser visto como um indicador de precariedade e falta de acesso a recursos - condição que tem sido denominada como pobreza energética. Ademais, apesar de renovável, a lenha é bastante intensiva em emissões de gases de efeito estufa, pois sofre combustão incompleta por não possuir boas características de queima, gerando proporções relevantes de metano (CH₄)⁷.

Figura 37.

Emissões de CO₂e da atividade de Transporte e distribuição de produtos alimentícios no ano de 2021, segundo categoria de carga e modo (rodoviário, ferroviário ou hidroviário)⁶.



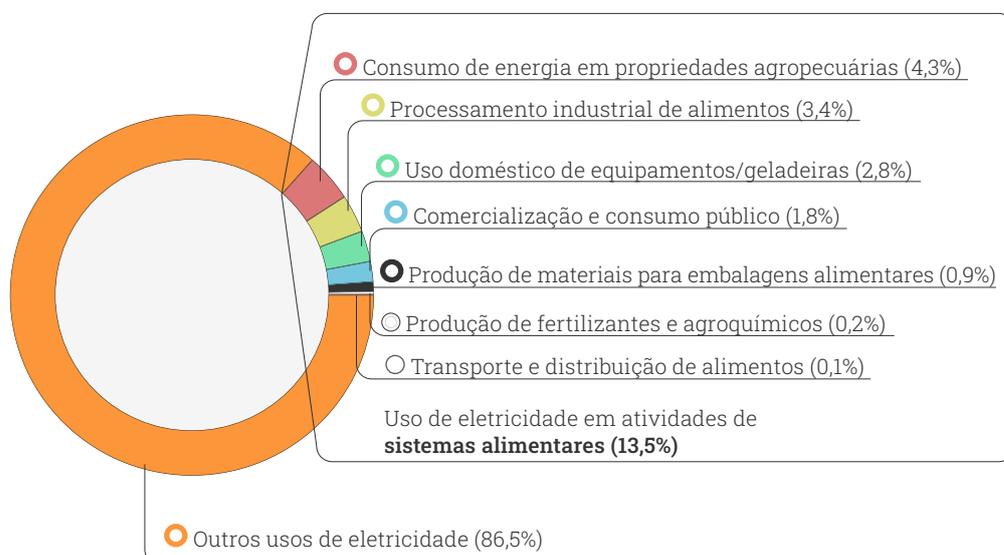
⁶ As emissões de HFCs devido ao uso de caminhões frigoríficos não estão representadas na figura, uma vez que possuem grandeza bastante inferior ao restante das emissões de Transporte e distribuição de alimentos (0,1 Mt CO₂e, o que equivale à 0,3% do total emitido por tal atividade). Além disso, as emissões de HFCs estimadas não puderam ser distribuídas nas diferentes categorias de carga.



Por fim, o esforço de atribuição de emissões a sistemas alimentares também teve o cuidado de contabilizar as emissões indiretas que ocorrem devido ao uso de energia elétrica. O uso direto de eletricidade em equipamentos não produz nenhum tipo de emissão, porém, para gerar parte dessa energia, ocorreu a queima de combustíveis em usinas termelétricas, causando emissões de GEE. Tais emissões são, portanto, caracterizadas como emissões indiretas do uso de energia elétrica. Em 2021, o Brasil alcançou a marca de 75,9 Mt de CO₂e emitidas em centrais elétricas de serviço público e em autoprodutoras (usinas acopladas a determinadas atividades econômicas). Um relevante percentual de cerca de 13% dessa quantidade pode ser atribuído a sistemas alimentares, conforme gráfico apresentado a seguir.

Figura 38.

Participação percentual em 2021 de diferentes atividades associadas a sistemas alimentares nas emissões de CO₂e do setor elétrico (queima de combustíveis em termelétricas).



⁷ Vale lembrar que a emissão de dióxido de carbono pela queima de biocombustíveis pode ser considerada neutra, uma vez que esse gás fora anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da biomassa/matéria-prima. O metano, no entanto, não apresenta esse ciclo fechado e precisa ser contabilizado como uma emissão antropogênica de gás de efeito estufa.



3.4.1

Emissões dos setores de Energia e Processos Industriais (PIUP) relacionadas à cadeia da carne bovina

Como detalhado na seção de metodologia, dados de atividade que possibilitassem atribuir emissões de Energia e Processos Industriais à cadeia da carne bovina no Brasil só foram encontrados para a atividade de Transporte e distribuição, limitando a viabilidade de qualquer análise.

Na atividade de Transporte e distribuição, como é possível observar na Figura 40, a carne bovina foi responsável pela emissão de 796 mil toneladas de CO₂e, que aconteceram em sua quase totalidade (98%) no transporte rodoviário.

3.5

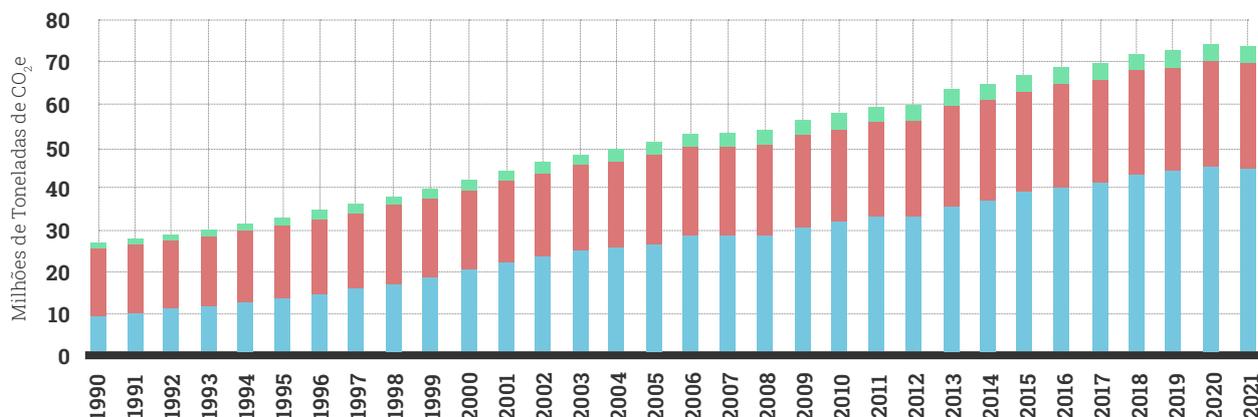
Emissões do setor de Resíduos

Em 2021, as emissões do setor de Resíduos associadas a sistemas alimentares alcançaram 74,2 MtCO₂e (GWP-AR5), representando 81% de todas as emissões setoriais, o que indica uma forte correlação setorial com o consumo de alimentos. Desde 1990, as emissões apresentaram um salto significativo, partindo de 26 MtCO₂e, o que representa um crescimento de 180%, conforme pode ser observado na figura 40. Essa evolução está principalmente relacionada com o aumento da população e de padrões de consumo, bem como a ampliação do acesso a serviços de saneamento.

Desagregando as emissões nos subsetores, destaca-se que ao longo da série, a emissão oriunda da disposição final de resíduos sólidos aterros sanitários, controlados ou lixões é a principal fonte de emissão, seguido das emissões associadas com o tratamento de efluentes líquidos domésticos e, por fim, observa-se a contribuição do tratamento de efluentes industriais. A figura 41 apresenta a contribuição percentual de cada subsetor considerando a contribuição para todo o período analisado.

Figura 39.

Evolução da emissão por tipo GEE pelo setor de resíduos para sistemas alimentares no período de 1990 até 2021.



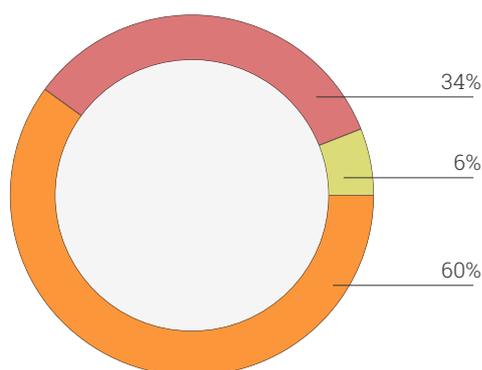
- Disposição Final de Resíduos Sólidos Alimentares
- Efluentes Líquidos Domésticos
- Efluentes Líquidos Industriais



Figura 40.

Contribuição média de emissões relacionadas com o tipo disposição e tratamento de resíduos.

- Disposição Final de Resíduos Sólidos Alimentares
- Efluentes Líquidos Domésticos
- Efluentes Líquidos Industriais

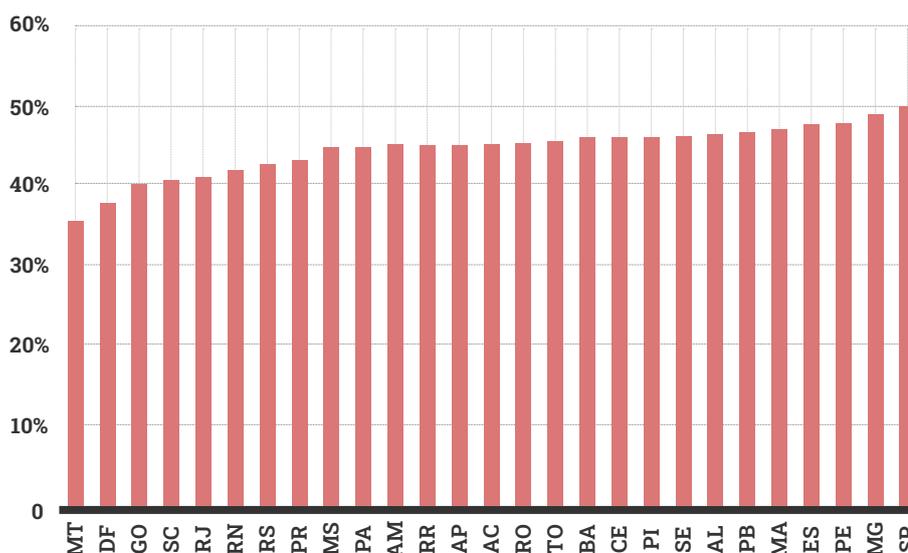


Em termos de informações utilizadas para estimar as emissões relacionadas com a disposição final, necessita-se de dados como quantidade de resíduos gerados, taxa de coleta, fração de resíduos alimentares na composição gravimétrica, tipos de disposição final adotados, quantidade de biogás recuperada (por meio do aproveitamento energético e flares em aterros sanitários) e outras informações adicionais.

Cada município apresenta uma composição gravimétrica específica, no entanto, são adotadas estimativas estaduais de caracterização do resíduo sólido municipal com base em informações apresentadas no relatório de referência do setor de resíduos para a elaboração do inventário nacional. Conforme apresentado no detalhamento metodológico, para calcular as emissões relacionadas com sistemas alimentares, é preciso compreender qual a fração do resíduo encaminhada para disposição final são restos de alimento e isso varia entre os diferentes governos subnacionais. A figura 42 apresenta a fração orgânica média para cada uma das unidades da federação, onde se observa que os estados de São Paulo e Minas Gerais são os que apresentam maior proporção da fração orgânica dos resíduos coletados.

Figura 41.

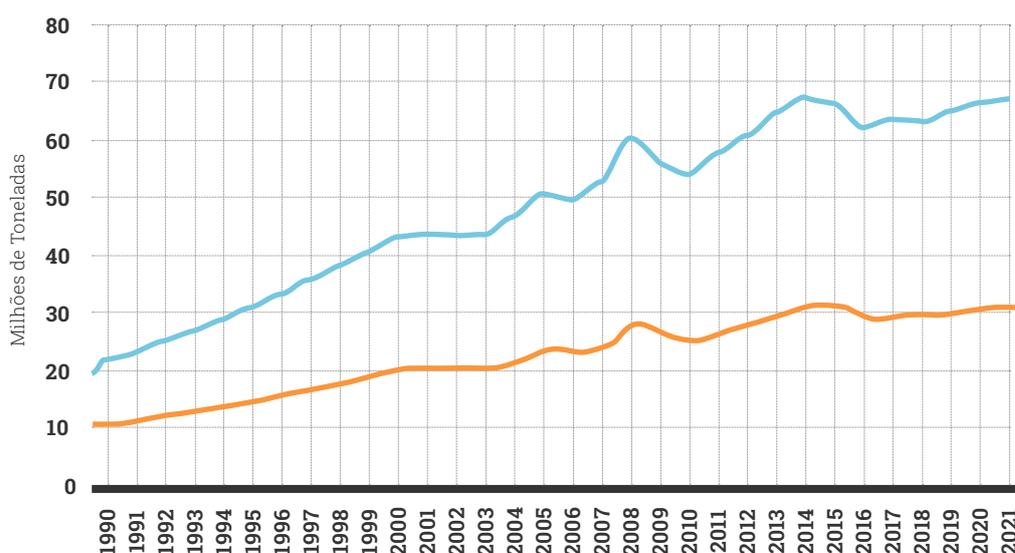
Fração de restos de alimentos presentes nos resíduos sólidos coletados por unidade da federação.





Em relação à quantidade de resíduos coletados, a estimativa é obtida a partir de dados do próprio inventário nacional, bem como em informações apresentadas no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em especial para anos mais recentes. Historicamente, observa-se que a quantidade de resíduos gerados e coletados aumentaram ao longo dos anos, associado com o aumento da população e alterações no padrão de consumo, nos últimos dez anos a geração per capita aumentou cerca de 10% (ABRELPE,2021), conforme pode ser observado na figura 43. Destaca-se que os restos de alimentos representaram em média 45,8% dos resíduos coletados, sendo que essa contribuição se revelou um pouco maior no início da série (46,7%).

Figura 42.
Evolução da coleta de resíduos sólidos municipais e da fração de restos de alimentos no período de 1990 a 2021.



Outro aspecto significativo na estimativa de emissões relacionadas com sistemas alimentares é a quantidade de biogás recuperada em aterros sanitários para queima em flares ou para o aproveitamento energético. Atualmente, de acordo com informações obtidas na plataforma de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), são registrados 51 aterros sanitários no Brasil que apresentam sistemas de aproveitamento do metano, sendo que em 2021 foi observada uma recuperação de cerca de 20% de todo biogás gerado (SEEG,2022).

As emissões relacionadas com a disposição final de restos de alimentos em aterros sanitários, controlados ou lixões aumentou significativamente de 1990 a 2021, cerca de 400%, sendo que inicialmente as emissões eram oriundas da disposição em lixões e atualmente, cerca de 70% das emissões são relacionadas com a disposição em aterros sanitários. Isso é um indicativo que os grandes centros urbanos, que são os grandes pólos de geração de resíduos no Brasil, estão avançando para o cumprimento das metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que tem como um dos grandes objetivos o encerramento dos lixões no país (MMA,2022). A figura 44 apresenta a evolução das emissões associadas com a disposição final no período analisado.



Ainda em relação ao comportamento das emissões do setor de resíduos sólidos, é importante destacar que entre os anos de 2020 e 2021, foi observada uma pequena redução, cerca de 2,5%, associada com aumento da recuperação do biogás gerado nos aterros sanitários. O último ano da série histórica apresentou um salto significativo de de metano recuperado, partindo de 452 mil para 531 mil tCH₄, um aumento de 17% liderado pelos aterros de Caieiras, CTR Leste de São Mateus em São Paulo e o de Paulínia (SEEG, 2022).

Figura 43.

Evolução das emissões de GEE relacionadas com a disposição final de restos de alimentos 1990 a 2021.

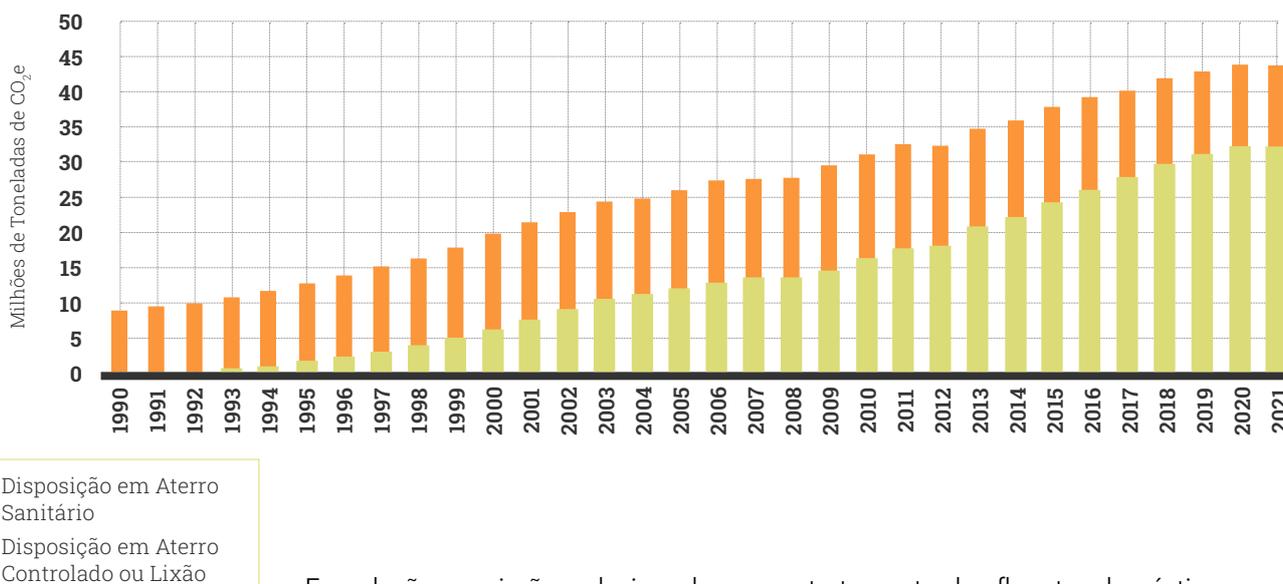
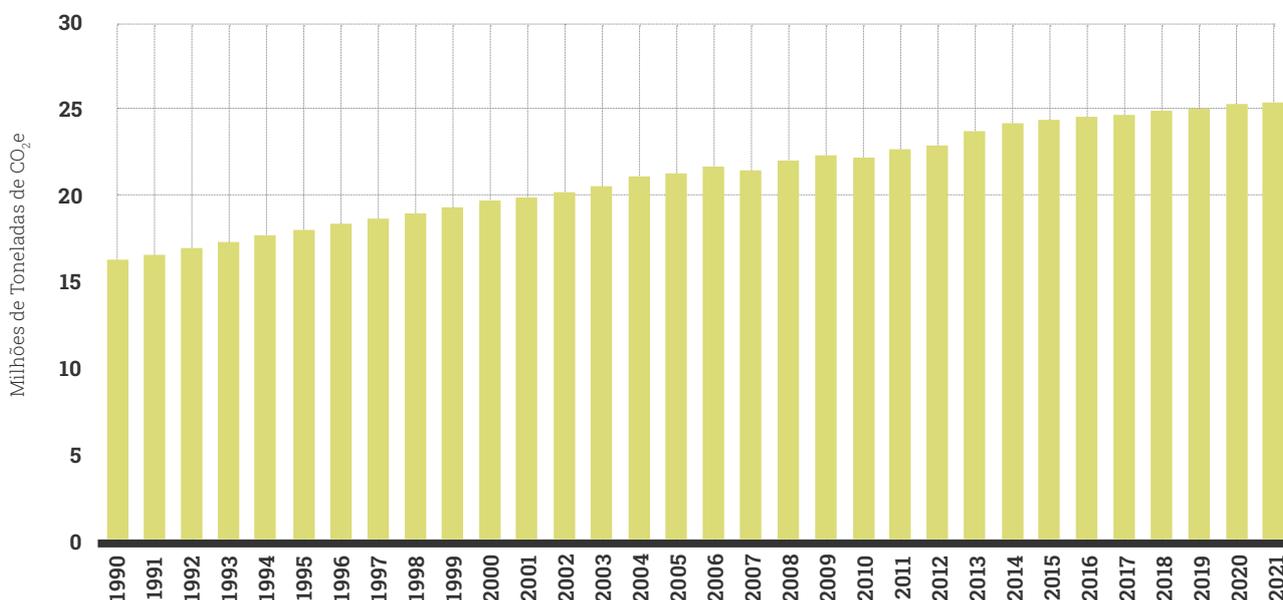


Figura 44.

Evolução das emissões de GEE relacionadas com o tratamento de efluentes domésticos de 1990 a 2021.

Em relação a emissões relacionadas com o tratamento de efluentes domésticos, que de acordo com a análise da FAO são consideradas em sua completude como oriundas de sistemas alimentares, foi observado um crescimento de 57% no período de 1990 a 2021, principalmente relacionado com o aumento da população e também com a ampliação do acesso à serviços de saneamento, que passou de cerca de 35% de acesso à rede geral no início série analisada (Saiani e Júnior, 2010) para cerca de 55% em 2021 (Trata Brasil, 2023). A figura 45 apresenta a evolução das emissões associadas com tratamento de efluentes domésticos no período analisado.





Por fim, em relação ao tratamento de efluentes líquidos industriais de atividades produtivas relacionadas com sistemas alimentares, observa-se que as emissões relacionadas com esse tipo de atividade aumentaram cerca de 215%, sempre lideradas pela contribuição de emissões oriundas do tratamento de efluentes de líquidos da produção de leite cru. A figura 46 apresenta a evolução das emissões, bem como a contribuição média dos diferentes tipos de produção industrial, a figura 47 apresenta a contribuição por tipo de atividade.

Figura 45.

Evolução das emissões de GEE relacionadas com o tratamento de efluentes líquidos industriais de 1990 a 2021.

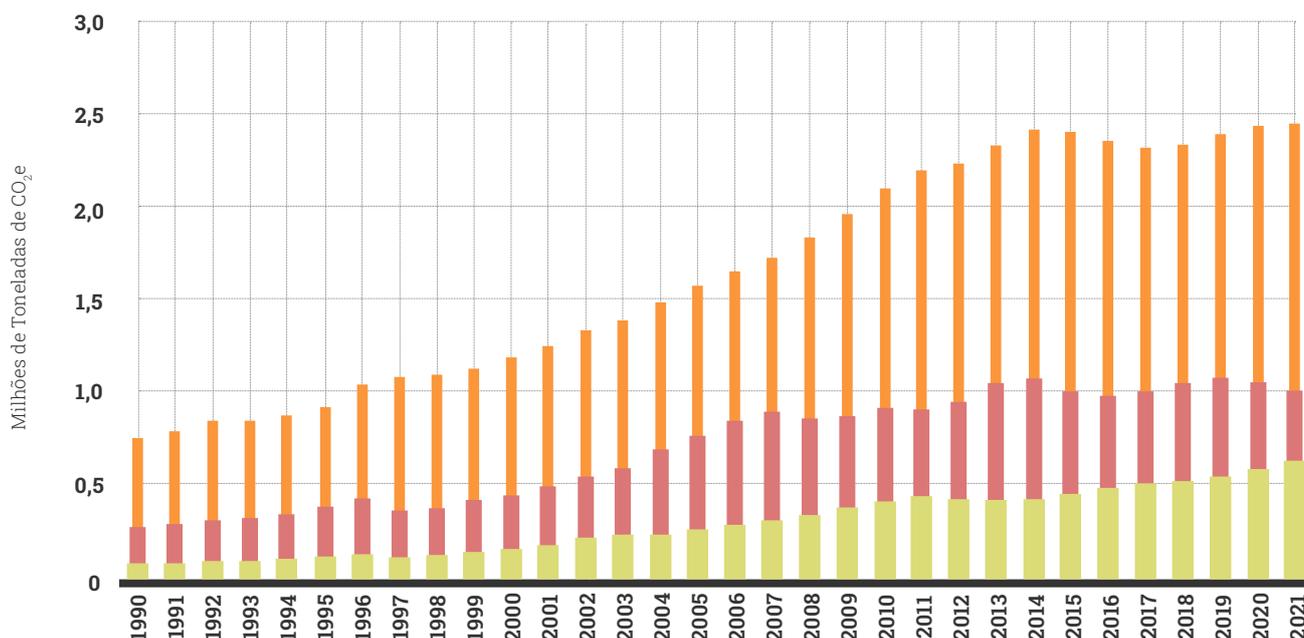
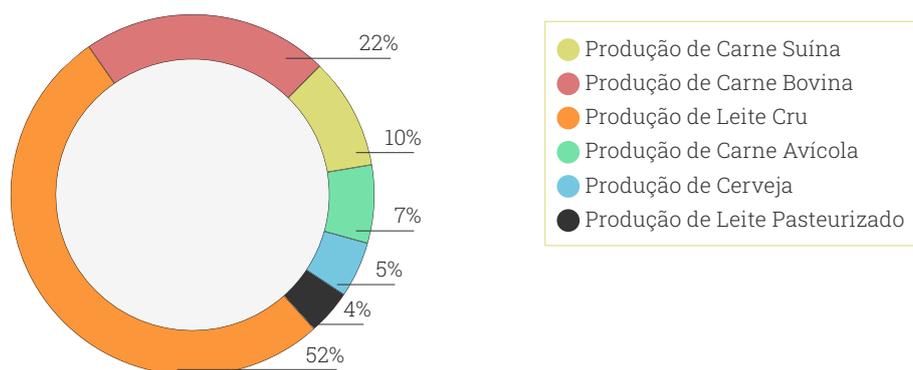


Figura 46.

Contribuição média por tipo de produção industrial nas emissões totais de efluentes líquidos industriais para o período de 1990 a 2021.



A tabela 15 apresenta os resultados consolidados para emissões do setor de resíduos associadas a sistemas alimentares por subsetor ou atividade geradora para anos de interesse entre o período de 1990 a 2021.



Tabela 15.

Emissões de GEE relacionados com o setor de resíduos em Sistemas Alimentares entre os anos de 1990 e 2021.

Subsetor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021
Disposição final de resíduos sólidos	8.815.143	12.803.111	19.679.954	26.242.474	31.547.647	38.501.110	44.510.952	44.091.025
Efluentes Líquidos Domésticos	16.225.110	17.914.563	19.671.314	21.357.526	22.283.452	24.409.725	25.323.806	25.514.531
Efluentes Líquidos Industriais	1.464.220	2.017.765	2.471.073	3.268.985	3.946.299	4.340.073	4.610.804	4.626.547
Total Geral	26.504.472	32.735.439	41.822.341	50.868.985	57.777.398	67.250.908	74.445.561	74.232.103

3.5.1

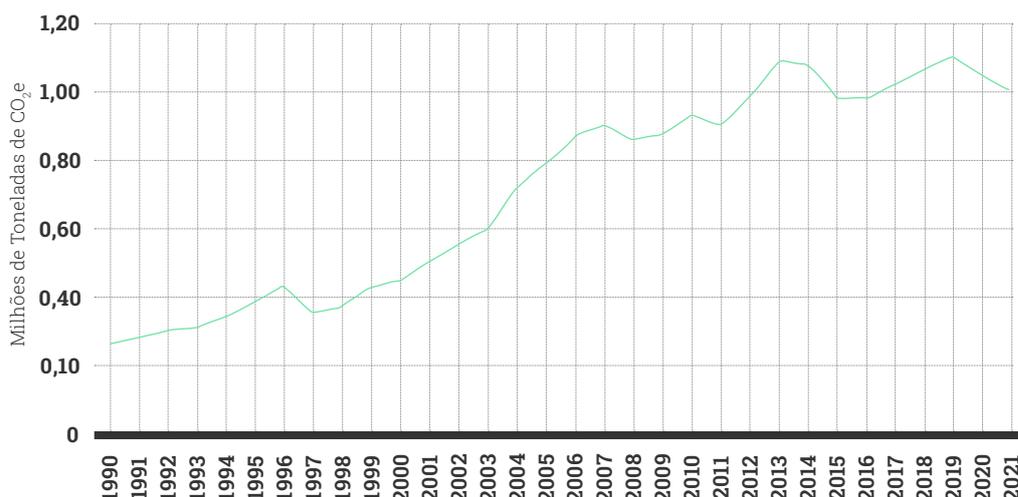
Emissões do setor de Resíduos relacionadas à cadeia da carne bovina

Devido a um contexto de baixo acesso a informações (como por exemplo uma dificuldade em compreender no que consistem os restos de alimentos dispostos em aterros sanitários, controlados ou lixões), não foi possível alocar as emissões pelos diferentes tipos de alimentos. Para o setor de resíduos, apenas foram consideradas emissões oriundas da produção de carne bovina para avaliar o impacto do setor na cadeia produtiva da carne, que representaram apenas 1% das emissões setoriais.

Em termos de evolução, as emissões cresceram cerca de 260%, associadas principalmente com o aumento na produção. Em 1990, o tratamento de efluentes oriundos da produção de carne bovina foi responsável pela emissão de 277 mil tCO₂e, atingindo o patamar de 996 mil tCO₂e em 2021. A figura 48 apresenta a evolução das emissões para o período analisado, com destaque para os anos de 2013 e 2019.

Figura 47.

Evolução das emissões para o período analisado, com destaque para os anos de 2013 e 2019.

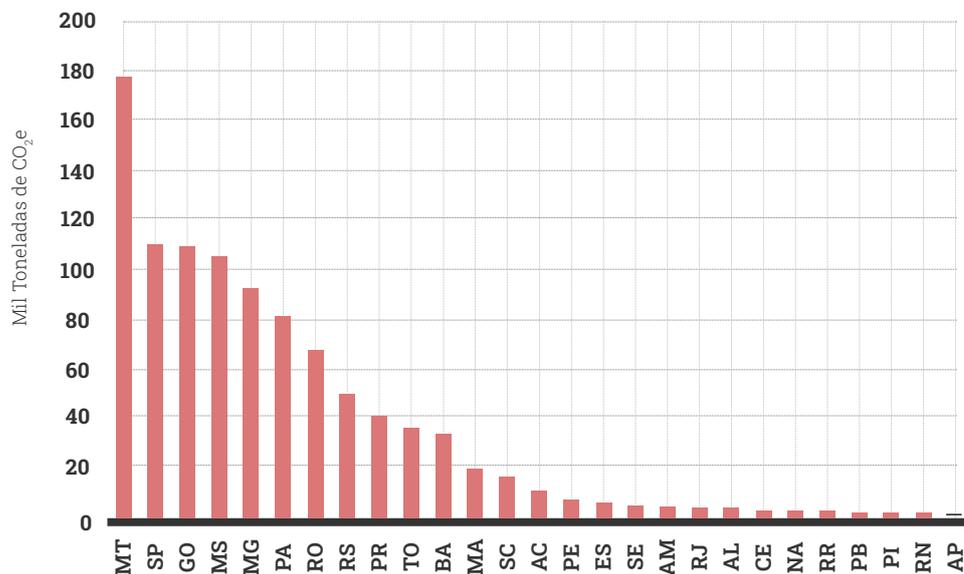




No nível estadual, o estado do Mato Grosso (18%) se qualifica como maior emissor em 2021, seguido da contribuição de estados como São Paulo (11%), Goiás (11%), Mato Grosso do Sul (10%) e Minas Gerais (9%), que são estados que se qualificam como os importantes produtores de carne no país. A figura 49 apresenta o ranking das emissões estaduais, bem como o total associado com cada unidade federativa.

Figura 48.

Ranking das emissões de GEE estaduais pelo setor de resíduos em 2021 para a cadeia de carne bovina.





4

Considerações finais



O exercício de estimar as emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil, aplicando um método de alocação como é feito no SEEG e certas premissas, mostrou que, em 2021, do total das emissões alocadas nos sistemas alimentares, 56,3% (1 GtCO₂e) se deveram à mudança de uso da terra e 33,7% (600 MtCO₂e) foram contabilizados como efeito da produção agropecuária.

Em seguida veio Energia, respondendo por 5,6% das emissões alocadas nos sistemas alimentares, com a emissão total de 100,1 MtCO₂e. O setor de Resíduos responde por 4,2% das emissões alocadas nos Sistemas Alimentares.

Por último, o setor de Processos Industriais e Uso de Produtos foi o que menos teve suas emissões associadas ao conjunto dos sistemas alimentares. Suas emissões foram de 4 MtCO₂e, sendo menos de 1% do total associado aos sistemas alimentares.

O recorte analítico na cadeia produtiva da carne bovina, em função da dimensão do rebanho bovino nacional e das áreas de pastagem, tem-se que a produção de carne bovina é a que mais contribuiu para as emissões alocadas nos sistemas alimentares em 2021 com total de 1,4 GtCO₂e o que corresponde a 78% das emissões estimadas .

Ao estimar as emissões de GEE para cada uma das etapas produtivas e quais são os principais produtos ou atividades emissores dentro delas, pode-se orientar estratégias de mitigação, contribuindo com o objetivo de reduzir a intensidade de emissão final desses produtos, tornando-os menos impactantes pelo viés climático, gerando sistemas produtivos menos emissores e mais eficientes.

Como já vem sendo demonstrado pela série histórica do SEEG, a alocação de emissões para o sistema alimentar mostra que o desmatamento é responsável por elevar os números. Este resultado reforça a urgência da implementação efetiva das ações públicas e privadas para eliminação do desmatamento em todos os biomas brasileiros. No momento em que os grandes planos de combate ao desmatamento, PPCDAm e PPCerrado, foram restituídos e revisados, torna-se fundamental acelerar a implementação, por exemplo, da rastreabilidade conjuntamente com os planos de descarbonização da agropecuária.

Para mudar esse cenário é preciso que as tecnologias da agropecuária de baixas emissões sejam transferidas em escala. Outras estimativas mostram o potencial de remoções de sistemas produtivos manejados de forma adequada e de acordo com a melhor ciência nacional já disponível. Por exemplo, em 2021, os solos brasileiros que possuem alguma prática considerada conservacionista, como a aplicação de plantio direto, recuperação de pastagens com níveis de degradação e implementação de sistemas integrados, foram responsáveis pela remoção de 370,8 MtCO₂e.

Essas remoções provenientes da disseminação e emprego de práticas e tecnologias ABC (Agropecuária de Baixa Emissão de Carbono) desempenham função fundamental na busca por atender as metas climáticas brasileiras, assim como para guiar o setor cada vez na direção de uma produção de baixas emissões, de forma que os diferentes sistemas produtivos sejam capazes de estocar carbono e emitir cada vez menos. Diversas tecnologias e soluções já foram apontadas por

É parcela da produção de carne bovina no total das emissões por sistemas alimentares

78%



outros estudos do SEEG demonstrando que, com investimento e escala, é possível reverter o cenário atual. Por exemplo, outra ferramenta desenvolvida no âmbito do SEEG (SEEG Soluções, 2021) lista nada menos que 87 soluções de estratégias de mitigação e adaptação aplicáveis no nível municipal, distribuídas entre todos os setores emissores.

Além disso, em 2022, foi publicado o relatório abordando os Desafios e Oportunidade para a Redução das Emissões de Metano no Brasil, o qual discute como o Brasil pode atender a meta global de reduções de metano até 2030 em 30% em relação ao ano de 2020 (Global Methane Pledge), assinado pelo Brasil na COP 26, em Glasgow, Escócia.

Na medida em que as estratégias de mitigação são adotadas, visando ao cumprimento da NDC Brasileira no Acordo de Paris, as emissões do conjunto dos sistemas alimentares devem ser reduzidas. São necessárias mudanças nos mais diversos sistemas produtivos para uma produção com baixas emissões e que atenda as demandas atuais e futuras por alimentos.

A adoção de novas tecnologias, práticas e ações de mitigação de emissões, a preservação dos estoques e aumento do sequestro de carbono são soluções que precisam ser escaladas para reduzir a pegada de carbono dos sistemas alimentares. Também se mostra muito relevante a discussão sobre o impacto que mudanças de dietas, com o consumo de alimentos mais saudáveis e produzidos de forma mais sustentável, poderiam surtir em reduzir emissões. Os sistemas de produção devem implementar práticas de baixas emissões para que os alimentos produzidos consigam ser, ao mesmo tempo, saudáveis e sustentáveis.

Agradecimentos

Carina Mueller; Clayton Campagnolla; Cristina Mendonça; Diogenes Rabello; Erasmus Zu Ermgassen; Estela Sanseverino; Fabricio Muriana; Francine Xavier; João Peres; Joelson Santos; Laís Amaral; Marcio Gazolla; Marjorie Mendes; Paulien Denis; Paulo Curi; Tharic Galuchi; Vivian Ribeiro.



5

Referências



ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Estatísticas - Nacionais - Transformados. **Associação Brasileira do Alumínio (Abal)**. Disponível em: <<https://abal.org.br/estatisticas/nacionais/transformados/consumo-domestico-por-setor/>>. Acesso em: set. 2023.

ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Estatísticas - Nacionais - Alumínio Primário. **Associação Brasileira do Alumínio (Abal)**, 2022. Disponível em: <<https://abal.org.br/estatisticas/nacionais/aluminio-primario/producao-por-usina/>>. Acesso em: set. 2023.

ABRAMOVAY, Ricardo et. al. Desafios para o sistema alimentar global. *Ciência e Cultura*, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 53-57, jan. 2021. *FapUNIFESP (SciELO)*. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100011>. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252021000100011&tlng=pt. Acesso em: 22 mar. 2023.

ABRAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. **Superhiper - Ranking Abras 2022**. Associação Brasileira de Supermercados (Abras). [S.l.], p. 212. 2022. Acesso em: set. 2023.

ABRELPE. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2020. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 05 de setembro de 2023.

ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Setor de Fertilizantes - Anuário Estatístico 2022**. Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda). São Paulo. 2022.

ASSAÍ. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2021**. Assaí Atacadista. [S.l.], p. 134. 2022. Disponível em: <https://www.assai.com.br/sites/default/files/assai_ras_digital_11abr22_ap.pdf>. Acesso em: set. 2023.

Brentrup, F., Lammel, J., Stephani, T. e Christensen, B. (2018). Valores atualizados da pegada de carbono para fertilizantes minerais de diferentes regiões do mundo. In: 11ª Conferência Internacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida de Alimentos. https://www.researchgate.net/publication/329774170_Updated_carbon_footprint_values_for_mineral_fertilizer_from_different_world_regions. Acesso em: 22 mar. 2023.

CARREFOUR. **Relatório de Sustentabilidade 2021**. Grupo Carrefour Brasil. São Paulo, p. 151. 2022. Disponível em: <<https://www.grupocarrefourbrasil.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: set. 2023.

CEBDS (Brasil). Agrifood chains and the challenges of combating deforestation: Stakeholders, regulations, markets and strategies. Rio de Janeiro, 2022. 40 p. Disponível em: https://cebds.org/wp-content/uploads/2022/11/CEBDS_CadeiasAgroalimentares_FINAL_ING-REV.pdf. Acesso em: 22 mar. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Oferta e Demanda de Carnes. **Companhia Nacional de Abastecimento (Conab)**, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/oferta-e-demanda-de-carnes>>. Acesso em: abr. 2023.

COSTA, Ciniro; WOLLENBERG, Eva; BENITEZ, Mauricio; et al. Roadmap for achieving net-zero emissions in global food systems by 2050. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 15064, 2022. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-022-18601-1>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

CRIPPA, M. et al. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. **Nature Food**, v. 2, p. 12, mar. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>>. Acesso em: set. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization. Methods for Estimating Greenhouse Gas - Emissions from Food Systems - Part III: Energy Use in Fertilizer Manufacturing, Food Processing, Packaging, Retail and Household Consumption. Food and Agriculture Organization (FAO). Roma, p. 71. 2021a.

FAO (Itália). The share of agri-food systems in total greenhouse gas emissions: global, regional and country trends 1990-2019. Roma: Fao, 2021b. 12 p. (31). Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Forestry Production and Trade. **FAOSTAT**, 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>. Acesso em: set. 2023.



FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations (Fao). **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Roma: Fao, 2017. 180 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

Franco, M. A. J.; Saraiva Neto, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria-prima. Brasília, DF: Ministério da Indústria e Comércio, 2008. 65 p.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2022 - Ano base 2021**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, p. 299. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: set. 2023.

EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **PNL 2025 - Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015**. Empresa de Planejamento e Logístico (EPL). [S.l.], p. 47. 2018. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015>. Acesso em: set. 2023.

EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA. **PNL 2035 - Plano Nacional de Logística**. Empresa de Planejamento e Logístico (EPL). [S.l.], p. 216. 2021. Disponível em: <https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>. Acesso em: set. 2023.

ERICKSEN, Polly J. *et al.* Conceptualizing food systems for global environmental change research. **Global Environmental Change**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 234-245, fev. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002>.

FBOM - Fórum Brasileiro de Organizações Não Governamentais e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. **Relação entre cultivo de soja e desmatamento: Compreendendo a dinâmica**. 2011. Disponível em: <https://www.icv.org.br/drop/wp-content/uploads/2013/08/sojadesmatamento.pdf>. Acesso em: set. 2023.

GPA. **Relatório Anual de Sustentabilidade 2021**. GPA. [S.l.], p. 154. 2022. Disponível em: <https://www.gpabr.com/pt/sustentabilidade/relatorios-sustentabilidade/>. Acesso em: set. 2023.

IABr - Instituto Aço Brasil. **Anuário Estatístico 2022**. Instituto Aço Brasil (IABr). Rio de Janeiro, p. 87. 2022a. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/07/AcoBrasil_Anuario_2022.pdf. Acesso em: set. 2023.

IABr - Instituto Aço Brasil. **Mercado Brasileiro do Aço 2022 - Análise Setorial e Regional**. Instituto Aço Brasil (IABr). Rio de Janeiro, p. 41. 2022b. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2022/08/MBA_Edi%C3%A7%C3%A3o_2022.pdf. Acesso em: set. 2023.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Fontes Energéticas. **Dados Abertos**, 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/fontes-energeticas>. Acesso em: set. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - Tabela 1954 - Domicílios particulares permanentes e Moradores em domicílios particulares permanentes, por classes de rendimento mensal domiciliar, situação do domicílio e alguns bens duráveis existentes no domicílio. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**, 2016. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1954>. Acesso em: set. 2023.

INGRAM, John *et al.* A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. **Food Security**, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 417-431, 24 nov. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12571-011-0149-9>.

International Fertiliser Society. 2019. The carbon footprint of fertiliser production: regional reference values. https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2020/01/The-carbon-footprint-of-fertilizer-production_Regional-reference-values.pdf. Acesso em: 22 mar. 2023.

IPCC. SYNTHESIS REPORT 2 OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6): summary for policymakers. 2023. 36 p. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf. Acesso em: 22 mar. 2023.



IPCC. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: food security*. 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2022/11/SRCCL_Chapter_5.pdf. Acesso em: 24 jun. 2023.

IPCC 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Editora: IGES, Japão.

Karl, K. e Tubiello, F.N. 2021. *Methods for estimating greenhouse gas emissions from food systems – Part II: waste disposal*. FAO Statistics Working Paper 21/28. Rome, FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb7028en/>. Acesso em 15 de março de 2023.

MAPA. *ENFRENTAMENTO A PERDAS E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/perdas-e-desperdicio-de-alimentos/publicacoes-em-destaque/relatorio-final-perdas-e-desperdicio>. Acesso em 11 de setembro de 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório síntese dos relatórios de referência subsetoriais setor mudança de uso da terra e florestas versão de*. Brasília, 2020a. 9 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório síntese dos relatórios de referência subsetoriais setor agropecuária versão de*. Brasília, 2020b. 9 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor agropecuária subsetor fermentação entérica*. Brasília, 2020c. 143 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor agropecuária subsetor manejo de dejetos*. Brasília, 2020d. 142 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor agropecuária subsetor cultivo de arroz*. Brasília, 2020e. 102 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor agropecuária subsetor queima de resíduos agrícolas*. Brasília, 2020f. 114 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor agropecuária subsectores solos manejados, calagem e aplicação de ureia*. Brasília, 2020g. 148 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI (Brasil). *QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: relatório de referência setor resíduos*. Brasília, 2020h. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf. Acesso em: 22 mar. 2023.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. *Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Energia - Subsetor Queima de Combustíveis - Abordagem Setorial*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Brasília, p. 178. 2020i. Disponível



em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em: set. 2023.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Processos Industriais e Uso de Produtos - Subsetor Gases Substitutos para as Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Brasília, p. 102. 2020j. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em: set. 2023.

MMA. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França.** [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em: 05 de setembro de 2023

Piergiovanni, L. & Limbo, S., 2016. *Food Packaging Materials*.

PROCEL. **Dicas de Economia de Energia. PROCELINFO - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: set. 2023.

Saiani, C e Júnior, R. **Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004).** Campinas, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ecos/a/c3WbdYjbktSPqPtDtsK49Fk/?format=pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2023.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2022).** Observatório do Clima. v.10. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>.

SEEG – Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. 2021. **Nota Metodológica, Setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas.** Disponível em: <<https://seeg.eco.br/notas-metodologicas>>.

TRATABRASIL. **Painel de Saneamento Brasil.** 2023. Disponível em: https://www.painelsaneamento.org.br/?utm_source=P%C3%A1gina+Painel+do+Saneamento&utm_id=Website+ITB. Acesso em 05 de setembro de 2023.

TUBIELLO, Francesco N. et al. **Pre- and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems.** *Earth System Science Data*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 1795-1809, 14 abr. 2022. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/essd-14-1795-2022>. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/14/1795/2022/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

VON BRAUN, Joachim et al. **Food system concepts and definitions for science and political action.** *Nature Food*, [S.L.], v. 2, n. 10, p. 748-750, 15 set. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-021-00361-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43016-021-00361-2>. Acesso em: 22 mar. 2023.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Steel Facts. World Steel Association.** Disponível em: <<https://worldsteel.org/about-steel/steel-facts/>>. Acesso em: set. 2023.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2014. **GHG Protocol Agricultural Guidance: Interpreting the Corporate Accounting and Reporting Standard for the agricultural sector.** 2014. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/agriculture-guidance>>.

WWF. **Dietas sustentáveis, sim. Desperdícios de alimentos, não.** Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/desperdicio_de_alimentos/. Acesso em 11 de setembro de 2023.