



CAPÍTULO 2





SUMÁRIO DO CAPÍTULO 2

2	INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	86
2.1	INTRODUÇÃO	86
2.1.1	Arranjos institucionais para elaboração do Inventário	88
2.1.2	Planejamento e gerenciamento do Inventário	90
2.1.3	Metodologia e principais fontes de informação.....	92
2.1.4	Procedimentos de controle e garantia de qualidade	93
2.1.5	Análise de incertezas.....	94
2.2	EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL.....	96
2.2.1	Emissões de CO ₂	100
2.2.2	Emissões de CH ₄	102
2.2.3	Emissões de N ₂ O.....	103
2.2.4	Emissões de HFCs, PFCs e SF ₆	104
2.2.5	Gases de efeito estufa indireto	105
2.3	SETOR ENERGIA (1).....	107
2.3.1	Aspectos metodológicos do setor.....	108
2.3.2	Atividades de Queima de Combustíveis (1.A).....	118
2.3.3	Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B).....	118
2.4	SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (2).....	120
2.4.1	Aspectos metodológicos do setor.....	122
2.4.2	Indústria Mineral (2.A)	131
2.4.3	Indústria Química (2.B).....	131
2.4.4	Indústria Metalúrgica (2.C)	132
2.4.5	Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D)	133
2.4.6	Indústria Eletrônica (2.E).....	134
2.4.7	Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F)	134
2.4.8	Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G)	135
2.4.9	Outros (2.H).....	136
2.5	SETOR AGROPECUÁRIA (3)	137
2.5.1	Aspectos metodológicos do setor.....	142
2.5.2	Fermentação Entérica (3.A)	151
2.5.3	Manejo de Dejetos (3.B)	151
2.5.4	Cultivo de Arroz (3.C)	152
2.5.5	Solos Manejados (3.D).....	153



4CN – Capítulo 2

2.5.6	Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).....	154
2.5.7	Calagem (3.G)	155
2.5.8	Aplicação de Ureia (3.H).....	155
2.6	SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (4).....	157
2.6.1	Aspectos metodológicos gerais do setor	158
2.6.2	Floresta (4.A)	166
2.6.3	Agricultura (4.B)	167
2.6.4	Campo e Pastagem (4.C)	168
2.6.5	Área Alagada (4.D).....	171
2.6.6	Assentamento (4.E)	172
2.6.7	Outras Terras (4.F).....	173
2.6.8	Produtos Florestais Madeiros (4.G)	175
2.7	SETOR RESÍDUOS (5)	176
2.7.1	Aspectos metodológicos do setor.....	177
2.7.2	Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).....	182
2.7.3	Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B)	183
2.7.4	Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C)	183
2.7.5	Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D)	184



2 INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta periodicamente seu inventário nacional de emissões antrópicas por fontes e remoções antrópicas por sumidouros de todos os gases de efeito estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal (doravante referenciado como Inventário), na medida que permitem as suas capacidades, conforme seu compromisso de atualização dessas estimativas e relato junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, no acrônimo em inglês). Além do Inventário pertinente às Comunicações Nacionais, o Brasil disponibiliza relato atualizado de suas emissões e remoções nos Relatórios de Atualização Bienal (BUR, no acrônimo em inglês).

Inventário de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal

Como determina a UNFCCC, o Inventário deve incluir as emissões e remoções antrópicas de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal. Por isso, não são considerados os gases CFCs e os HCFCs que, embora também sejam GEE, destroem a camada de ozônio e, por isso, são monitorados pelo Protocolo de Montreal.

GEE indireto

Referente aos gases precursores, que podem influenciar a concentração de alguns GEE, principalmente o ozônio troposférico.

Os GEE estimados no presente Inventário foram o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOCs), são gases de efeito estufa indireto, cujas emissões antrópicas foram incluídas sempre que possível, conforme encorajado pela UNFCCC.

Este Inventário apresenta as emissões de 1990 a 2016, com atualização do Terceiro Inventário, que apresentou as emissões de 1990 a 2010 (BRASIL, 2016). A metodologia utilizada no presente Inventário reflete os avanços técnico-científicos consolidados nas “Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, no acrônimo em inglês) para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa” (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC 2006) (IPCC, 2006).

Em virtude das diversas fontes de emissões antrópicas de GEE, o Inventário está organizado segundo as atividades contempladas nos setores: Energia; Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, no acrônimo em inglês); Agropecuária; Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, no acrônimo em inglês); e Resíduos (conforme Figura 2.1). Já as remoções de gases de efeito estufa são contabilizadas apenas no setor LULUCF, como resultado do aumento do estoque de carbono, por meio, por exemplo, do crescimento de vegetação.

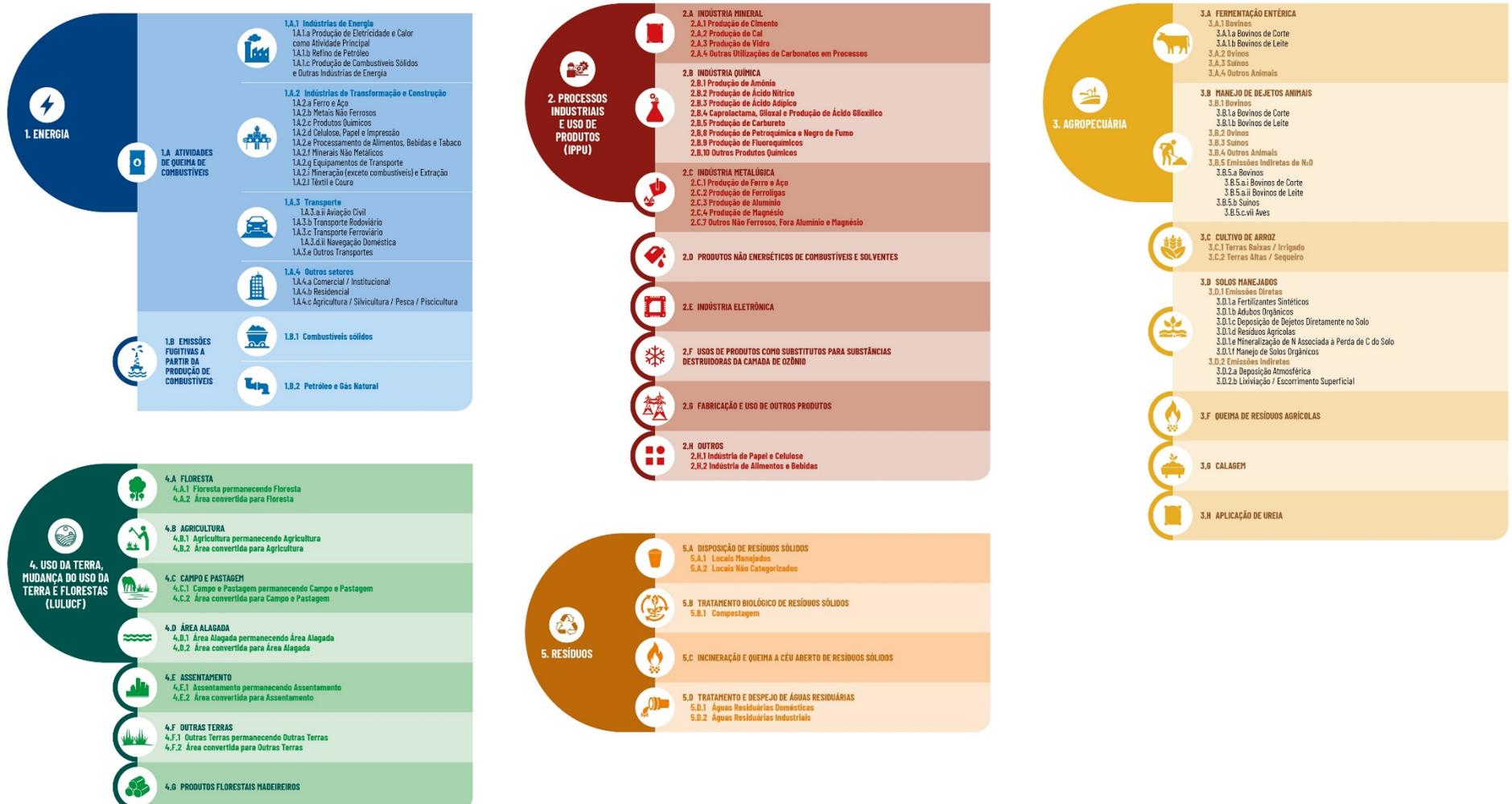


Figura 2.1. Estrutura dos setores inventariados no Quarto Inventário de GEE do Brasil

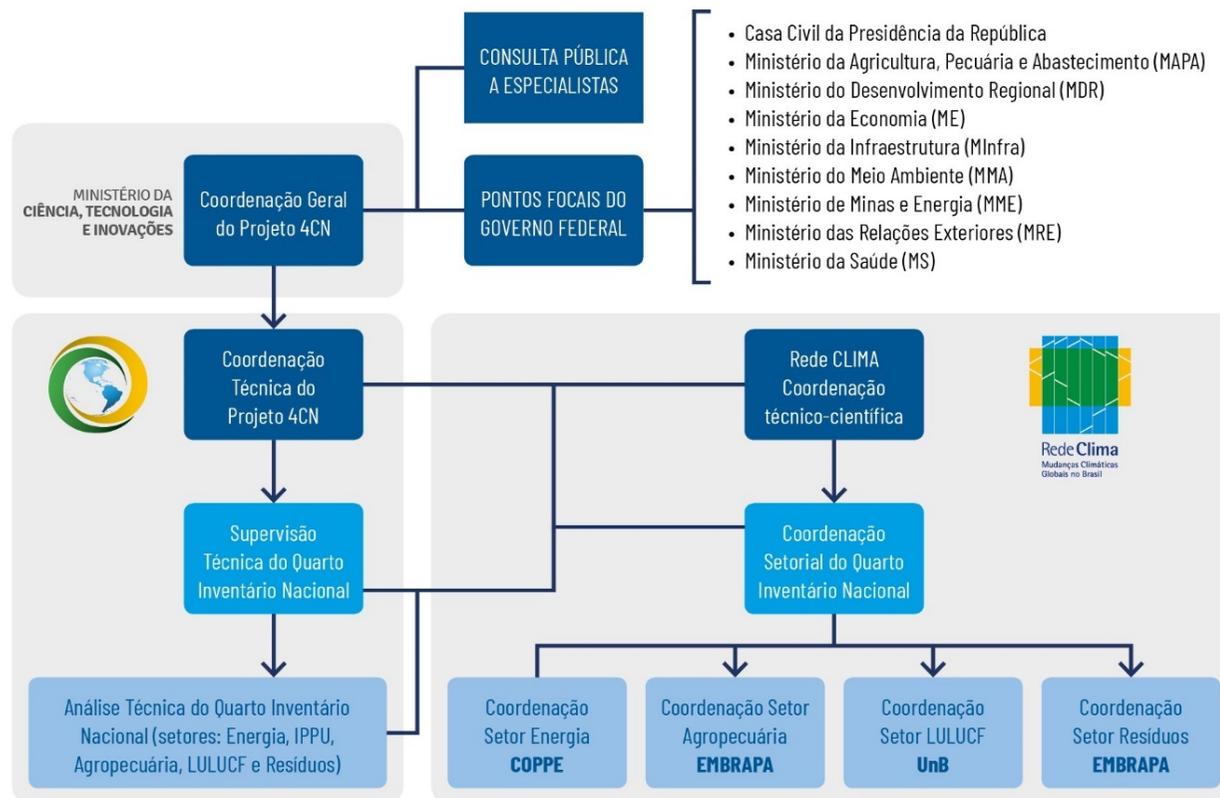


2.1.1 Arranjos institucionais para elaboração do Inventário

A elaboração do Quarto Inventário representou esforço coletivo e multidisciplinar, que envolveu cerca de 185 instituições e mais de 300 especialistas de todas as regiões do país. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), por meio da atuação da Coordenação-Geral da Ciência do Clima e Sustentabilidade (CGCL), é responsável pela coordenação da elaboração do Inventário e desempenha papel relevante na articulação dos diferentes grupos de trabalho, que contribuem para o levantamento das informações setoriais. O organograma da Figura 2.2 apresenta o arranjo institucional e mostra a complexidade de articulação entre os diferentes atores envolvidos no processo de elaboração deste Inventário.

Por sua abrangência e especificidade, a elaboração do Quarto Inventário envolveu importante parcela da comunidade científica e empresarial brasileira, além de diversas instituições governamentais, associações de classe, organizações do terceiro setor, universidades e centros de pesquisas, representados, em grande parte, pela Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA). Em virtude do escopo das atividades pertinentes ao setor IPPU, esse não contou com coordenação técnico-científica específica, mas valeu-se do contato e de subsídios oriundos das principais associações industriais, além de contar com o engajamento da comunidade científica aos temas tratados de forma integrada ao setor Energia.

*Para saber mais sobre a Rede CLIMA, consulte o **item 5.2.16.***



	Setor Energia	Setor IPPU	Setor Agropecuária	Setor LULUCF	Setor Resíduos
Pontos Focais da Rede CLIMA	2	1	13	4	3
Especialistas	43	22	72	120	41
Instituições envolvidas diretamente	11	7	33	34	12
Instituições envolvidas indiretamente	10	21	7	20	6

Figura 2.2. Arranjo institucional para elaboração do Quarto Inventário de GEE



2.1.2 Planejamento e gerenciamento do Inventário

O ciclo do Inventário é iniciado com o estabelecimento de parcerias responsáveis pela geração e coleta de dados, desenvolvimento e levantamento de parâmetros, atualização das estimativas e pela compilação dos resultados em relatórios de referência. O ciclo segue os passos descritos na Figura 2.3 e termina com o planejamento de melhorias para o próximo ciclo.

Os Inventários do Brasil são arquivados como um conjunto de planilhas na rede institucional do MCTI, além de metadados utilizados ao longo do processo, desde artigos científicos até o banco de dados espaciais utilizados no setor LULUCF. Os relatórios de referência setoriais, que descrevem de forma transparente o detalhamento metodológico, com indicação de fontes de dados e premissas adotadas, também são arquivados pelo MCTI. Esses relatórios são disponibilizados publicamente na página eletrônica no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE)¹, junto com os resultados das emissões de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Nesse sentido, é possível, por meio do SIRENE, acessar a série histórica de emissões referente aos resultados publicados dos inventários nacionais, cujos dados de gráficos e tabelas podem ser exportados em diferentes formatos.

Para saber mais sobre o SIRENE, consulte o item 5.1.2.

¹ Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br>



	1. Planejamento das atividades	2. Coleta de dados	3. Cálculo de emissões	4. Validação das emissões setoriais e ajustes	5. Consolidação final do Inventário e disponibilização dos resultados	6. Planejamento de melhorias
	<ul style="list-style-type: none"> Identificação e formalização de parcerias. Definição do plano de trabalho setorial. Revisão de métodos, estratégias e fontes de dados. Revisão e adequação do protocolo de controle e garantia de qualidade para elaboração do Inventário. 	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento de dados setoriais. Solicitação e coleta dos dados, junto às organizações. Compilação dos bancos de dados, parâmetros e fatores. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicação de técnicas de ajustes das informações coletadas para garantia da consistência temporal do inventário. Cálculo das emissões de GEE setoriais, para toda a série histórica. Elaboração da primeira versão dos Relatórios de Referência (RR) setoriais, contendo a memória de cálculo e dados/parâmetros utilizados. 	<ul style="list-style-type: none"> Validação dos resultados setoriais por pontos focais do governo. Consolidação e disponibilização dos Relatórios de Referência setoriais para consulta pública a especialistas. Análise das contribuições e implementação de possíveis ajustes no Relatórios de Referência pós consulta pública e Inventário Nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> Consolidação das emissões setoriais e dos resultados gerais do Inventário. Desenvolvimento do capítulo do Inventário Nacional. Disponibilização dos resultados do Inventário no portal SIRENE. 	<ul style="list-style-type: none"> Arquivamento e organização dos documentos. Atualização do plano de melhoria do Inventário Nacional. Início de planejamento do próximo ciclo de Inventário.
Controle e Garantia de Qualidade (QA/QC)	<ul style="list-style-type: none"> Revisão e adequação do protocolo de controle e garantia de qualidade para elaboração do Inventário. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisão da completude, integridade e precisão da série de dados; Checagem de valores e referências; Comparação dos valores com outras fontes de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisão periódica da metodologia utilizada e planilhas de cálculo; Revisão da consistência temporal; Checagem automática de erros; Checagem dos dados por amostra e tendência. 	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação dos resultados e premissas utilizadas por especialistas via consulta pública e reuniões com especialistas; Revisão das planilhas de cálculo e Relatórios de Referências setoriais. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisão da compilação dos resultados; Revisão do relato dos dados e parâmetros utilizados e suas respectivas referências. 	

Figura 2.3. Ciclo para elaboração do Inventário de GEE do Brasil



2.1.3 Metodologia e principais fontes de informação

A preparação deste Inventário atendeu às diretrizes para a elaboração das Comunicações Nacionais das Partes não-Anexo I da Convenção, estabelecidas pela Decisão 17/CP.8. De acordo com essa Decisão, os inventários dos países em desenvolvimento devem, minimamente, ser preparados de acordo com as diretrizes do IPCC. Neste Inventário, o Brasil se empenhou na aplicação das “Diretrizes de 2006 do IPCC para Inventários Nacionais de Emissões de Gases de Efeito Estufa” (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories – IPCC 2006) que já era parcialmente utilizada no Terceiro Inventário. Dessa forma, entende-se que o país aprimorou suas estimativas, o que possibilita a melhoria do planejamento e dos subsídios para a tomada de decisões sobre ações de mitigação de GEE.

As metodologias do IPCC para a quantificação das emissões são divididas em 3 níveis (ou *Tiers*) que correspondem à complexidade metodológica e à representação das particularidades de cada país. O *Tier 1* é tido como o método básico, com uso de fatores de emissão padrão (*default*) indicados pela própria metodologia do IPCC, o *Tier 2* intermediário, e o *Tier 3* mais exigente em termos de requisitos de dados obtidos nacionalmente. Os *Tiers 2* e *3* são considerados como métodos de estimativas mais precisos.

Para esse Inventário foram usados os diferentes *Tiers*, cuja aplicação para as diversas categorias pode ser compreendida no detalhamento setorial apresentado nos Quadros com informações sobre os “níveis metodológicos aplicados por gás” (Quadros 1.2, 1.5, 1.8, 1.9, 1.15).

Para o Quarto Inventário houve a inclusão de categorias de emissão, atualização de algumas premissas metodológicas e alterações de equações, parâmetros e/ou fatores de emissão utilizados, decorrentes principalmente da implementação do IPCC 2006, conforme mostra o Quadro 2.1.

Quadro 2.1. Atualizações e aprimoramentos metodológicos para o Quarto Inventário

Setor	Atualizações e aprimoramentos metodológicos
1. Energia	<ul style="list-style-type: none"> ● Compatibilização das categorias de emissões do setor, de acordo com a classificação indicada pelo IPCC 2006; ● Aprimoramento dos parâmetros e modelos utilizados para estimativa de emissões na Aviação Civil (1.A.3.a) e no Transporte Rodoviário (1.A.3.b); ● Inclusão das emissões das coqueiras nas Indústrias de Energia; ● Exclusão das emissões de CO₂ relacionado à combustão espontânea em pilhas de rejeitos, na categoria Mineração e Manejo do Carvão (1.B.1.a), dada as condições nacionais analisadas.
2. IPPU	<ul style="list-style-type: none"> ● Outros Usos de Carbonatos (2.A.4): deslocamento para a categoria de uso final, quando pertinente (ferro e aço); ● Inclusão de nova subcategoria: Produção de Cerâmica (2.A.4.a); ● Produção de Amônia (2.B.1): desconto do CO₂ usado na produção de ureia; ● Atualização do fator de emissão da produção de eteno; ● Utilização do balanço de carbono da indústria na categoria Produção de Ferro e Aço (2.C.1); ● Inclusão de novo subsetor Indústria eletrônica (2.E); ● Reformulação do modelo de cálculo para Refrigeração e ar-condicionado (2.F.1).
3. Agropecuária	<ul style="list-style-type: none"> ● Inclusão dos subsetores: Calagem (3.G) e Aplicação de Ureia (3.H), em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006 e com recomendações da UNFCCC; ● Solos Manejados (3.D): <ul style="list-style-type: none"> ○ Inclusão da categoria “Mineralização de N associada a perda de C do solo (3.D.1.e)”, em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006; ○ As emissões pela contribuição com N de biomassa de pastagem incorporada ao solo na ocasião da renovação, e as raízes de culturas passaram a ser contabilizados como fonte de N₂O em Resíduos Agrícolas (3.D.1.d), em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006; ○ Inclusão da torta de filtro da indústria sucroalcooleira em Adubos Orgânicos (3.D.1.b), bem como o uso de fertilizantes sintéticos no cultivo de arroz, em Fertilizantes Sintéticos (3.D.1.a);



Setor	Atualizações e aprimoramentos metodológicos
	<ul style="list-style-type: none"> ● Fermentação Entérica (3.A) e Manejo de Dejetos (3.B): para a categoria animal bovina, houve uma maior desagregação por tipo de confinamento, idade e sexo animal. Para as categorias suínos e aves, houve a desagregação por finalidade produtiva. Além disso, em Manejo de Dejetos (3.B), foram incluídas as emissões indiretas de N₂O, em conformidade com a implementação do IPCC 2006; ● Queima de Resíduos Agrícolas (3.F): implementação de fatores de emissão específicos para a realidade nacional; ● Alteração/ atualização da base de dados e parâmetros utilizados na estimativa de emissões do setor Agropecuária.
4. LULUCF	<ul style="list-style-type: none"> ● Inclusão da categoria Produtos Florestais Madeireiros (4.G), em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006; ● Transferência de Calagem (3.G) para o setor Agropecuária, em conformidade com recomendações da UNFCCC; ● Revisão da metodologia para estimativa de remoção por vegetação natural protegida (ou manejada, para fins do Inventário) e por vegetação secundária; ● Atualização dos dados de atividade: novos mapas para o bioma Mata Atlântica, para todos os anos avaliados; melhorias dos mapas de 1994 e 2002 do bioma Cerrado; mapeamento de pastagens severamente degradadas dos biomas Cerrado e Amazônia para 2016; detalhamento espacial por tipo de cultivo (perene, semiperene e anual) em 2016; ● Atualização de fatores de emissão e remoção: i) revisão dos estoques de carbono e da representatividade das fitofisionomias de todos os biomas, com base em novo mapa de vegetação natural pretérita; ii) estimativa de biomassa acima do solo para o bioma Amazônia, a partir de dados LiDAR aerotransportado; iii) espacialização dos estoques de carbono do bioma Cerrado, baseada em ecorregiões; iv) revisão dos fatores de alteração de carbono orgânico do solo de pastagens (naturais, plantadas em boas condições e plantadas em más condições), cultivos agrícolas (plantio direto e convencional) e reflorestamento.
5. Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> ● Inclusão do subsetor “Tratamento Biológico de Resíduos (5.D)”, em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006; ● Inclusão da categoria “Queima a Céu Aberto de Resíduos (5.C.2)”, no subsetor “Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C)”, em conformidade com estrutura setorial indicada pelo IPCC 2006; ● Alteração/atualização da base de dados e parâmetros utilizados na estimativa de emissões do setor Resíduos.

2.1.4 Procedimentos de controle e garantia de qualidade

O principal objetivo do plano de controle e garantia de qualidade (QA/QC, no acrônimo em inglês) é assegurar que o Inventário esteja de acordo com os princípios de boas práticas, que orientam a preparação e divulgação de inventários, sendo eles: transparência, acurácia, comparabilidade, consistência e completude.

Por definição, o Controle de Qualidade (QC, no acrônimo em inglês) é um sistema de atividades técnicas rotineiras para avaliar e manter a qualidade do inventário enquanto ele está sendo compilado. Já a Garantia de Qualidade (QA, no acrônimo em inglês) é um sistema planejado de procedimentos de revisão, conduzidos por atores não diretamente envolvidos no processo de desenvolvimento e compilação do inventário.

Para cumprir os critérios de boas práticas de QC recomendados pelo IPCC, foram realizadas verificações dos dados de atividades, parâmetros, fatores de emissão e cálculos. Para isso, estabeleceram-se procedimentos e atividades de validação, conforme progresso no desenvolvimento dos produtos, até a elaboração dos relatórios de referência setoriais.

O processo de QA consistiu na disponibilização dos relatórios de referência setoriais à consulta pública a especialistas, para avaliação técnica externa. Os comentários, as sugestões, as recomendações e as observações resultantes foram registrados, respondidos e incorporados, quando pertinentes.



4CN – Capítulo 2

Especificamente para o setor LULUCF, foi adotada estratégia complementar ao QA padrão estabelecido, devido ao complexo processo de geração dos dados de atividade deste setor (i.e., matrizes de conversão de uso e cobertura da terra) diante do tamanho e das particularidades regionais do território nacional. Nesse sentido, foi instituído um Comitê de Validação Científico, formado por especialistas de cada bioma. A atuação do comitê se deu desde a validação dos mapas de uso e cobertura da terra elaborados nos Inventários anteriores, até a seleção de imagens de satélite, auxílio técnico durante a elaboração do mapa atualizado para 2016 e validação e análise de acurácia do mapa realizado no âmbito do Quarto Inventário. O envolvimento de especialistas em mapeamento de cada bioma brasileiro contribuiu para melhor representar a dinâmica de uso e cobertura da terra nacional. Além disso, especialistas de cada bioma validaram os fatores aplicados para as estimativas, bem como os resultados do setor.

2.1.5 Análise de incertezas

As estimativas de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa apresentadas neste Inventário estão sujeitas a incertezas devido a diversas causas, desde a imprecisão de dados básicos até o conhecimento incompleto dos processos que originam as emissões ou remoções de gases de efeito estufa. De acordo com as “Diretrizes de Boas Práticas de 2000 do IPCC” (*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories – GPG 2000*) (IPCC, 2000), é reconhecido que a incerteza das estimativas não pode ser totalmente eliminada. Todavia, o objetivo principal deve ser o de produzir estimativas acuradas, que não sejam nem subestimadas nem sobrestimadas, e cada vez mais precisas, na medida do possível.

De acordo com IPCC 2006, a análise de incertezas deve ajudar na priorização dos esforços nacionais que possibilitarão reduzir a incerteza dos futuros inventários, além de guiar as decisões a respeito das escolhas metodológicas.

A incerteza do inventário está associada a cada um dos dados de atividade e fatores de emissão e outros parâmetros utilizados nas estimativas. A quantificação da incerteza de cada dado é uma informação tão ou mais difícil de avaliar quanto a própria informação desejada.

Para este Inventário, a precisão das estimativas variou dependendo das características de cada setor, dos dados disponíveis e dos recursos aplicados na determinação de fatores de emissão mais adequados às circunstâncias brasileiras.

Utilizou-se para o cálculo das incertezas o método de propagação de erro (Abordagem 1) em nível nacional, para o último ano do Inventário (2016), para todos os setores. Com exceção do setor Resíduos, que utilizou o método de Monte Carlo (Abordagem 2), dada a possibilidade do detalhamento dos diversos parâmetros envolvidos nesta estimativa. A incerteza total do Inventário foi obtida a partir das análises das incertezas de todos os gases estimados, e não apenas os três mais importantes — CO₂, CH₄ e N₂O — que perfazem 99,6% do total em CO₂e em 2016.

Os resultados quantitativos da análise de incerteza são apresentados na Tabela 2.1.



Tabela 2.1. Resultados da análise de incerteza, em 2016, do Quarto Inventário

Setores	Incerteza por gás em 2016 (%)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFCs	HFCs	SF ₆
Energia	3	45	32	-	-	-
IPPU	3	76	40	20	31	54
Agropecuária	29	16	65	-	-	-
LULUCF	73	33	40	-	-	-
Resíduos	70	12	26	-	-	-
Incerteza por gás	31	13	56	20	31	54
Incerteza total - 2016	20					



2.2 EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO BRASIL

As emissões totais de GEE do Brasil, em 2016, totalizaram 1.467 Tg CO₂e (vide Box 2.1) e representaram um aumento de 19,4% em relação às emissões de 2010 (Figura 2.4), último ano da série histórica apresentada na Terceira Comunicação Nacional.

Consulte o **Apêndice** para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)

Proporcionalmente, o setor Agropecuária contribuiu com 33,2% do total das emissões em 2016 (vide Box 2.2), o setor Energia com 28,9% e o setor LULUCF com 27,1% (Figura 2.4). Os setores IPPU e Resíduos contribuíram com parcelas menores de emissões, representando 6,4% e 4,5%, respectivamente.

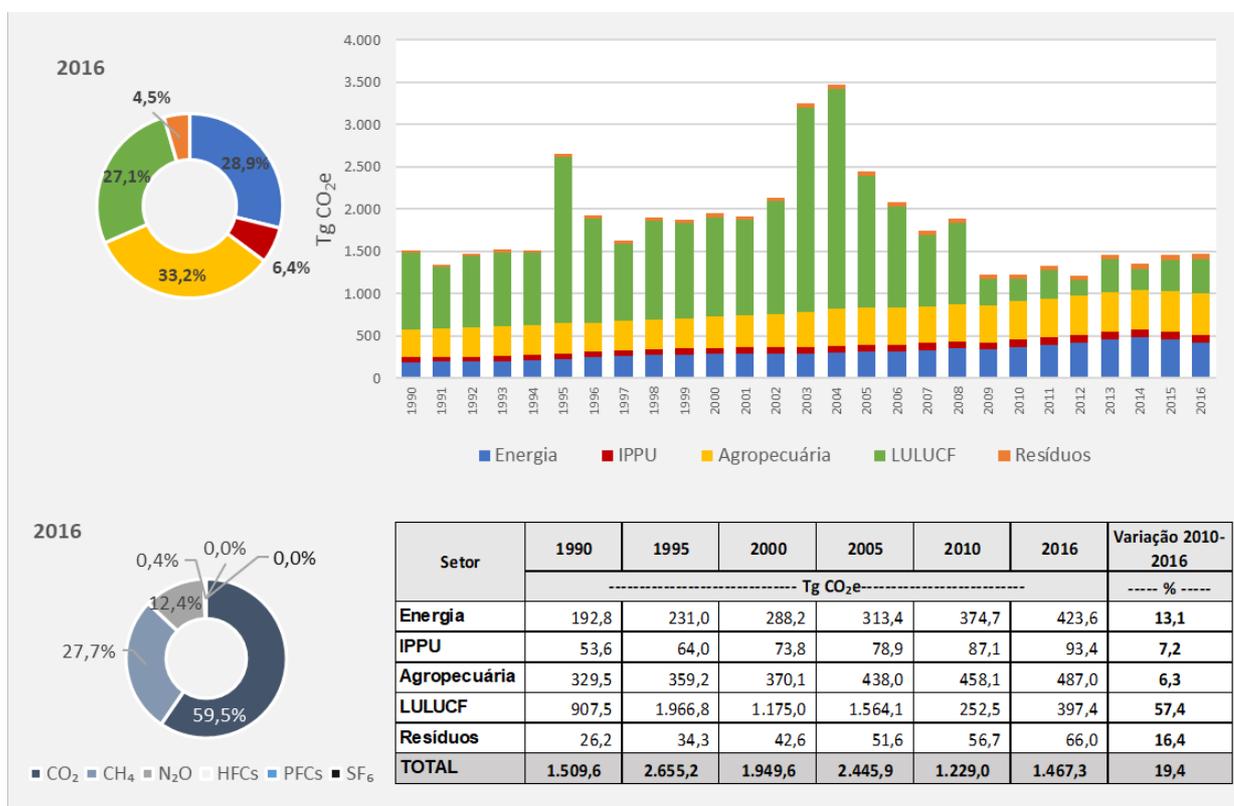


Figura 2.4. Emissões totais de GEE de 1990 a 2016 em Tg de CO₂e

Em 2016, as emissões brasileiras foram de 873.272 Gg CO₂; 19.333,2 Gg CH₄ e 586,09 Gg N₂O, que representaram 59,5%, 27,7% e 12,4% do total do Inventário em CO₂e. Entre 2010 e 2016, as emissões totais de CO₂, CH₄ e N₂O aumentaram em 30,3%, 3,8% e 10,7%, respectivamente.

Os HFCs somaram 5.728 Gg CO₂e, os PFCs 273 Gg CO₂e e o SF₆ foi estimado em 295 CO₂e, que juntos representaram 0,4% do total de emissões em 2016 (Figura 2.5). As emissões de gases de efeito estufa indireto também foram avaliadas, em 2016 foram estimadas 2.547,7 Gg de NO_x; 24.044,1 Gg de CO; e 3.241,0 Gg de NMVOC.

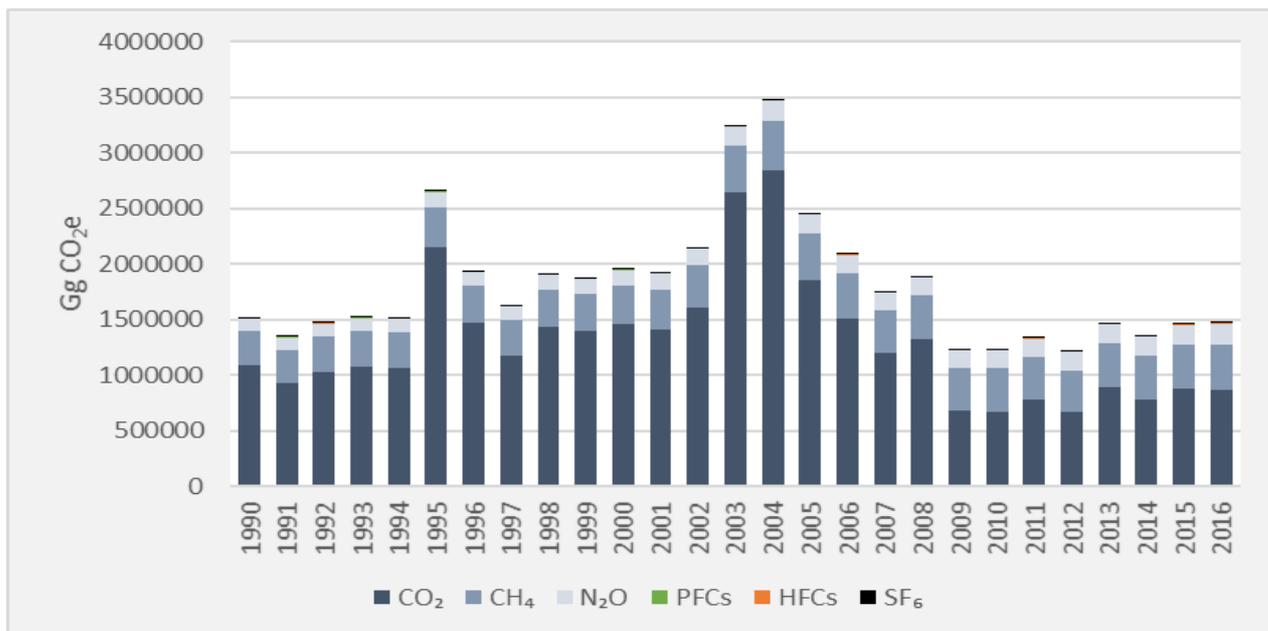


Figura 2.5. Resultado da evolução das emissões dos GEE em Gg CO₂e de 1990 a 2016

Para o período de 1990 a 2016 destaca-se a redução significativa das emissões a partir do ano de 2004, com a observação de relativa estabilidade nas emissões para o período mais recente de 2010 a 2016.

Do aumento das emissões totais entre 2010 e 2016, a maior parte (61%) foi devido ao aumento das emissões em LULUCF. Em seguida vieram as contribuições dos aumentos dos setores Energia (20%), Agropecuária (12%) Resíduos (4%) e IPPU (3%).



4CN – Capítulo 2

Box 2.1: Emissões nacionais considerando outras métricas de GWP (SAR e AR5) e GTP (AR5)

Segundo a Decisão 17/CP.8 da Convenção do Clima, os resultados do inventário devem ser apresentados em unidades absolutas de gás. Caso o país opte por relatar suas emissões em equivalentes de CO₂ (CO₂e), poderia usar os valores do Potencial de Aquecimento Global (GWP, no acrônimo em inglês) para um horizonte de 100 anos, publicados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR, no acrônimo em inglês) (IPCC, 1995). Todas as análises e resultados apresentados em CO₂e nesse capítulo utilizaram a métrica GWP do SAR (100 anos).

O GWP é uma medida de quantas vezes mais calor uma determinada quantidade de um gás de efeito estufa retém na atmosfera em relação a uma mesma quantidade de CO₂, em um determinado horizonte de tempo. Ele é expresso como um fator que, multiplicado pela massa do gás, resulta em uma massa equivalente de CO₂ (CO₂e).

Embora o uso do GWP-SAR seja sugerido para inventários de países não-Anexo I, os relatórios de avaliação posteriores do IPCC apresentaram novos valores para o GWP dos gases. A partir do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5, no acrônimo em inglês) (IPCC, 2013), publicação mais recente sobre o tema, foram apresentados, pela primeira vez, os valores para o Potencial de Temperatura Global (GTP, no acrônimo em inglês), que o Brasil também considera relevante.

Segundo o IPCC, o GTP caracteriza-se por ser uma métrica baseada na mudança de temperatura, ou seja, está relacionada com a variação da temperatura média da superfície global, em um horizonte temporal selecionado, em resposta a um pulso de emissão de GEE.

Segundo o IPCC (2013), "a métrica e o horizonte de tempo mais adequados dependerão de quais aspectos da mudança do clima são considerados mais importantes a um uso em particular. Nenhuma métrica é capaz de comparar, de maneira precisa, todas as consequências de diferentes emissões e todas têm limitações e incertezas". O IPCC afirma, ainda, que a métrica de GTP é mais adequada para políticas baseadas em metas de contenção do aquecimento global, enquanto o GWP não está diretamente relacionado a um limite de temperatura. Diante disso, a métrica de GTP seria a mais consistente para monitoramento de medidas que visam conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais.

Na Tabela 2.2 são apresentados os valores dos coeficientes por gás associados às diferentes métricas. Na Tabela 2.3, são apresentados os resultados finais de CO₂e com as outras métricas mais recentes – GWP-AR5 e o GTP-AR5 (IPCC, 2013).

Tabela 2.2. Fatores para GWP (100 anos) e GTP (100 anos)

Gás	GWP 100 anos SAR-1995	GWP 100 anos AR5-2014	GTP 100 anos AR5-2014
CO ₂	1	1	1
CH ₄	21	28	4
N ₂ O	310	265	234
HFC-23	11.700	12.400	12.700
HFC-32	650	677	94
HFC-125	2.800	3.170	967



Gás	GWP 100 anos SAR-1995	GWP 100 anos AR5-2014	GTP 100 anos AR5-2014
HFC-134a	1.300	1.300	201
HFC-143a	3.800	4.800	2.500
HFC-152a	140	138	19
HFC-227ea	3.220	3.350	1.460
HFC-365mfc	794	804	114
CF ₄	6.500	6.630	8.040
C ₂ F ₆	9.200	11.100	13.500
SF ₆	23.900	23.500	28.200

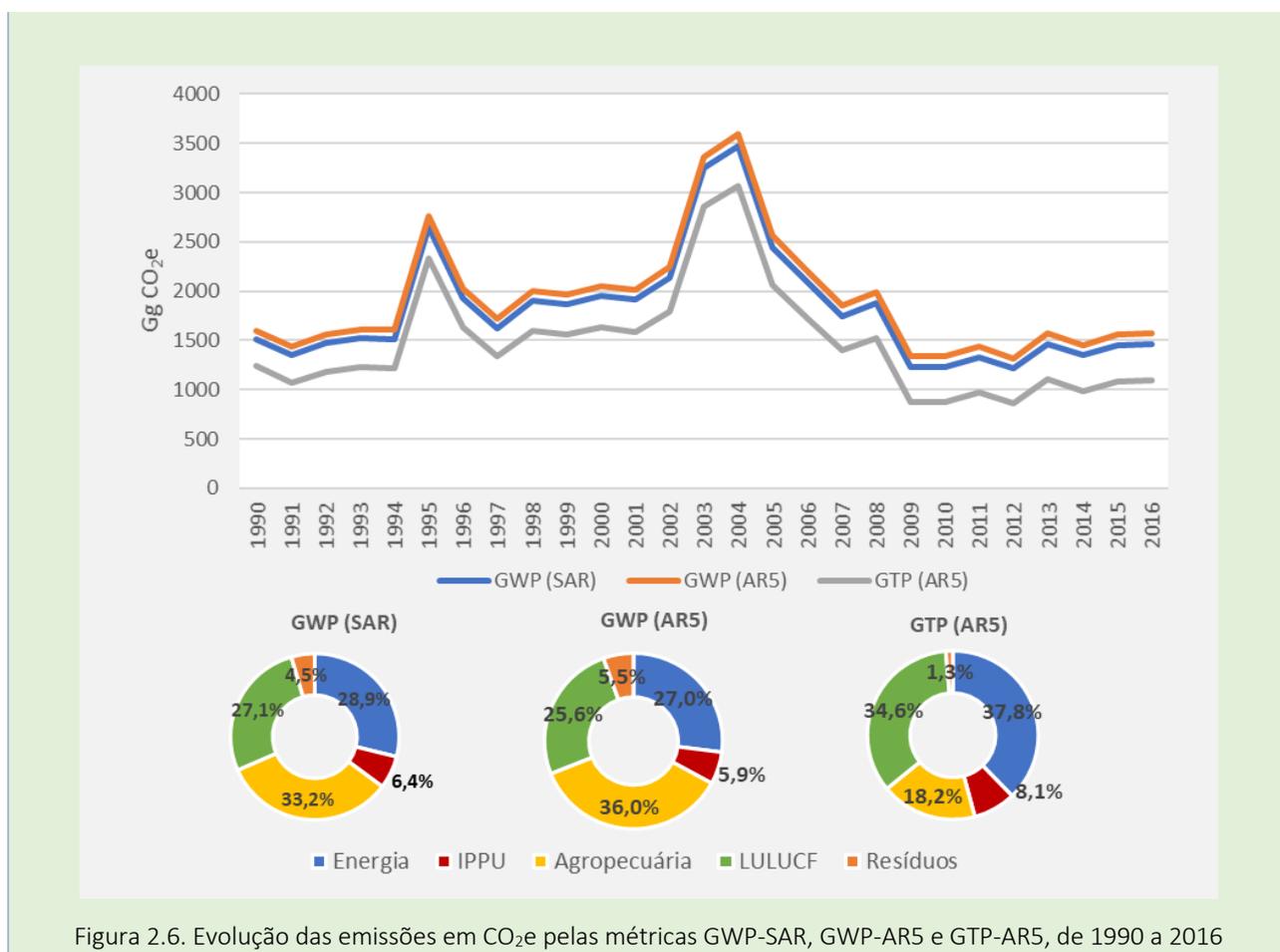
Tabela 2.3. Resultados do Quarto Inventário, em CO₂e, pelas métricas GWP (SAR e AR5) e GTP (AR5)

GWP (SAR)	1990	1995	2000	2005	2010	2016
	----- Gg CO ₂ e -----					
1. Energia	192.809	230.983	288.164	313.396	374.671	423.580
2. IPPU	53.553	63.965	73.758	78.883	87.101	93.359
3. Agropecuária	329.510	359.245	370.116	437.959	458.091	487.005
4. LULUCF	907.520	1.966.770	1.175.013	1.564.054	252.508	397.357
5. Resíduos	26.194	34.257	42.578	51.618	56.672	65.954
TOTAL	1.509.585	2.655.220	1.949.629	2.445.909	1.229.043	1.467.255
GWP (AR5)	1990	1995	2000	2005	2010	2016
	----- Gg CO ₂ e -----					
1. Energia	196.118	233.681	290.986	317.209	377.818	426.279
2. IPPU	53.503	63.600	73.148	78.198	87.352	93.597
3. Agropecuária	394.660	430.465	440.610	520.056	538.345	567.043
4. LULUCF	916.026	1.983.628	1.186.864	1.579.549	258.274	403.141
5. Resíduos	33.976	44.550	55.412	67.269	73.966	86.484
TOTAL	1.594.283	2.755.924	2.047.020	2.562.280	1.335.754	1.576.544



4CN – Capítulo 2

GTP (AR5)	1990	1995	2000	2005	2010	2016
	----- Gg CO ₂ e -----					
1. Energia	182.643	222.086	278.508	300.642	362.290	411.890
2. IPPU	52.693	62.744	71.410	75.524	84.057	88.034
3. Agropecuária	119.537	128.482	137.298	162.928	178.403	198.043
4. LULUCF	878.072	1.908.883	1.134.166	1.510.668	232.364	377.231
5. Resíduos	6.330	8.098	10.098	12.128	13.157	14.487
TOTAL	1.239.276	2.330.292	1.631.480	2.061.890	870.272	1.089.684



2.2.1 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ resultaram de atividades relacionadas, principalmente, com o uso energético de combustíveis fósseis e as mudanças do uso e cobertura da terra. Outras fontes que compõem as emissões de CO₂ são os processos industriais de produção de ferro-gusa e aço, cimento, cal, barrilha, amônia e alumínio, bem como a utilização de fertilizantes na agricultura e incineração ou queima de resíduos sólidos.



4CN – Capítulo 2

No Brasil, a partir de 2005, houve redução significativa das emissões do setor LULUCF, relacionada principalmente à diminuição do desmatamento, o que contribuiu para o aumento da participação relativa do setor Energia nas emissões totais de CO₂ para 2016. Cabe ressaltar a elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidrelétricas, pelo uso de etanol no transporte rodoviário e pela utilização de bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria². A Figura 2.7 sumariza as emissões líquidas de CO₂ no Brasil, por setor.

As emissões de CO₂ do setor Energia representaram, em 2016, 46,0% das emissões totais de CO₂, com aumento de 13,8% em relação às emissões de 2010. Somente a categoria Transporte, que envolve todos os modais, foi responsável por 22,9% das emissões nacionais de CO₂ em 2016.

As emissões do setor IPPU representaram 9,8% das emissões totais de CO₂ em 2016, sendo que a produção de ferro e aço, a principal fonte emissora, contribuiu com 5,0% das emissões nacionais de CO₂. De 2010 a 2016, as emissões de IPPU aumentaram 4,7%.

O setor Agropecuária contribuiu com 2,3% das emissões de CO₂ do país, relacionadas à prática de calagem e aplicação de ureia na agricultura. As emissões líquidas do setor LULUCF representaram 41,8% das emissões totais de CO₂ em 2016, sendo as emissões da categoria Floresta para Campo e Pastagem (4.C.2.a) as mais representativas.

O setor Resíduos contribuiu com 0,1% para as emissões de CO₂ em 2016, devido, principalmente, à queima a céu aberto de resíduos sólidos de origem fóssil (0,06% das emissões nacionais de CO₂).

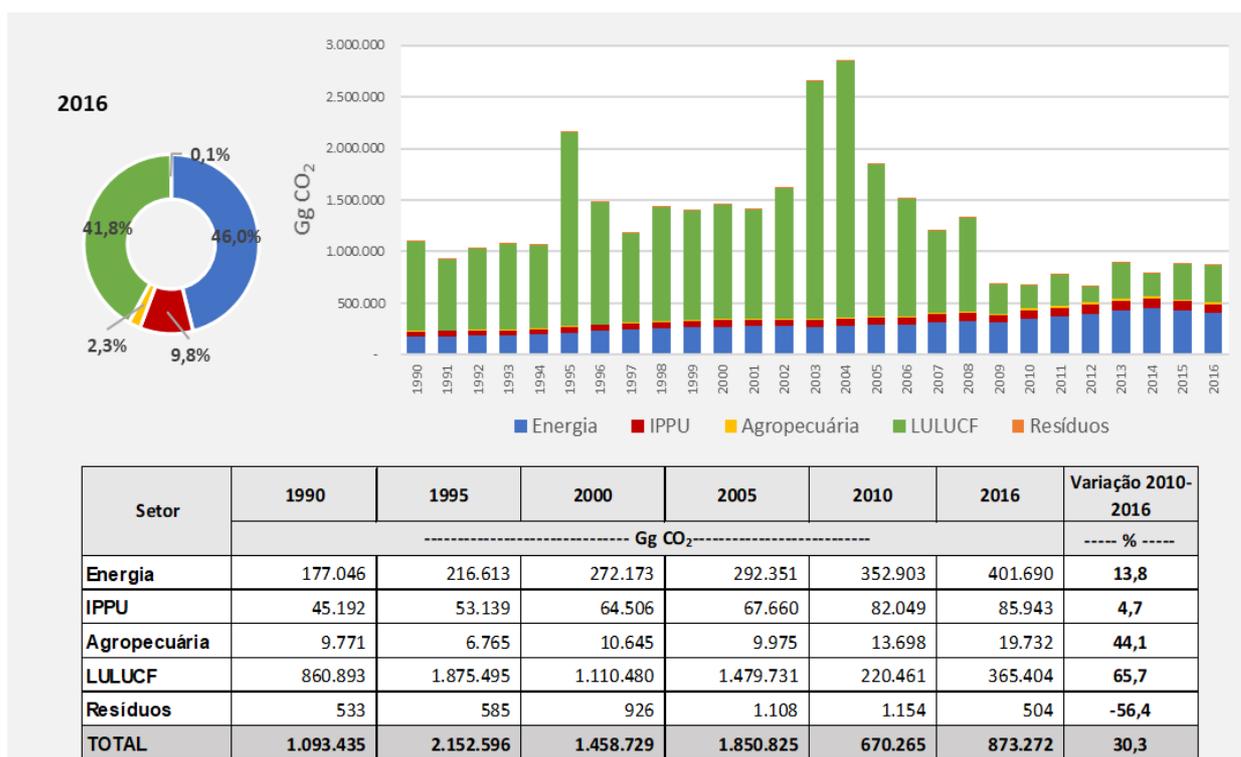


Figura 2.7. Emissões nacionais de CO₂, de todos os setores, de 1990 a 2016

² As emissões de CO₂ relacionadas à combustão da biomassa não são contabilizadas no setor Energia, uma vez que estão relacionadas ao balanço do estoque de carbono associado à mudança do uso da terra no setor LULUCF.



4CN – Capítulo 2

2.2.2 Emissões de CH₄

As emissões nacionais de CH₄ foram oriundas de atividades agropecuárias, da mudança do uso e cobertura da terra, do tratamento de resíduos, de alguns processos industriais, além da extração e refino de petróleo e gás natural.

No setor Energia, as emissões de CH₄ ocorrem devido à queima imperfeita de combustíveis e também devido à fuga de CH₄ durante os processos de produção e transporte de gás natural e mineração de carvão. As emissões de CH₄ do setor Energia representaram 2,9% das emissões totais de CH₄ em 2016, menos 8,6% em relação às emissões de 2010.

No setor IPPU, as emissões de CH₄ ocorrem durante a produção de petroquímicos, mas têm pequena participação nas emissões brasileiras, 0,2%.

O setor Agropecuária teve participação de 76,1% nas emissões de CH₄ em 2016. Nesse ano, as emissões de CH₄ associadas à fermentação entérica (eructação) do rebanho nacional foram estimadas em 13.462,5 Gg, representando 91,5% das emissões do setor, um aumento de 1,6% em relação a 2010, valor inexpressivo quando comparado ao aumento do rebanho e da produtividade pecuária ocorrida no país. As emissões restantes estão relacionadas ao manejo de dejetos de animais, ao cultivo do arroz (irrigado, que tem a maior parte da área cultivada no país) e à queima de resíduos agrícolas, este último com redução de 72,8% das emissões comparadas com 2010.

No setor LULUCF, as emissões de CH₄ ocorrem pela queima da biomassa associada à dinâmica de uso e cobertura da terra. Essas emissões representaram 5,4% do total de emissões de CH₄ em 2016.

As emissões do setor Resíduos representaram 15,5% do total das emissões de CH₄ em 2016, sendo a disposição de resíduos sólidos a atividade que mais contribuiu para a emissão do setor.

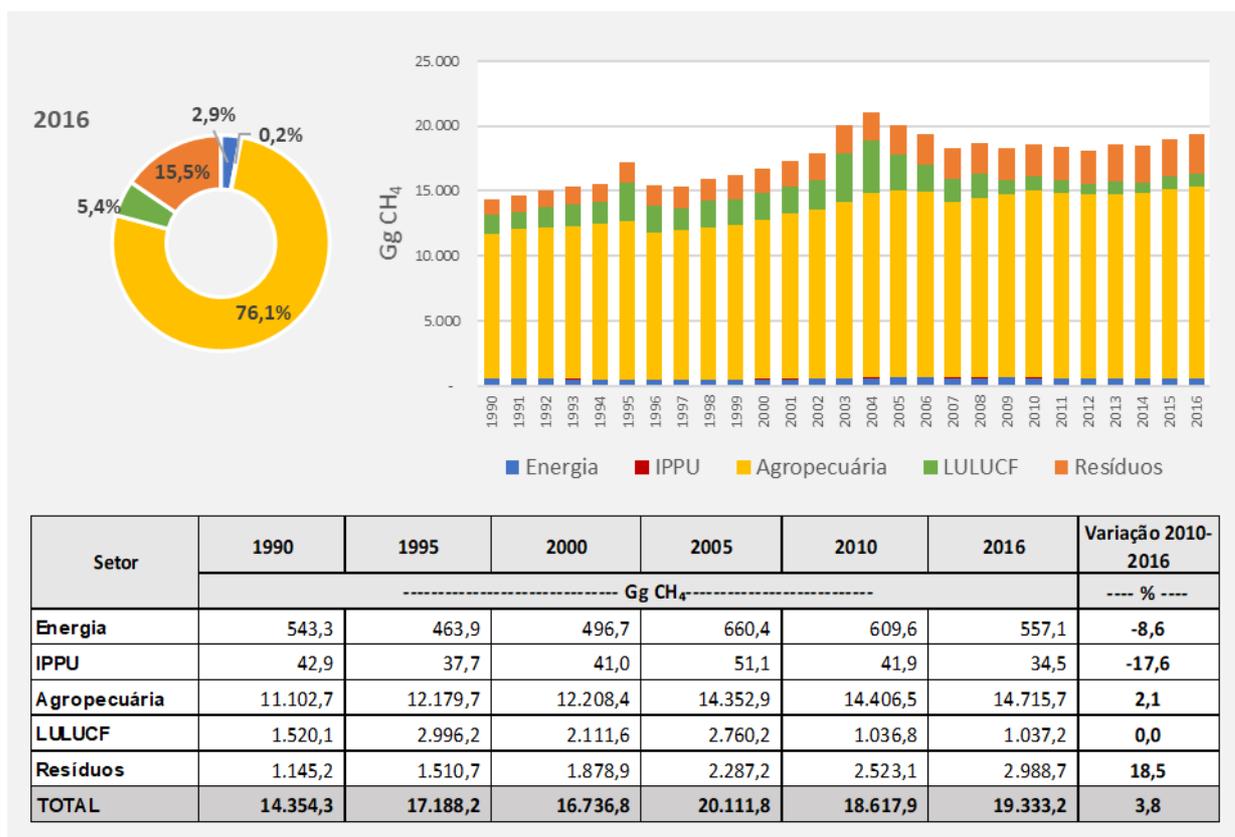


Figura 2.8. Emissões nacionais de CH₄, de todos os setores, de 1990 a 2016



4CN – Capítulo 2

2.2.3 Emissões de N₂O

As emissões nacionais de N₂O resultaram da aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos no solo, bem como do tratamento de efluentes domésticos, queima de combustíveis fósseis e de biomassa, processos industriais e mudança do uso e cobertura da terra.

As emissões de N₂O no setor Energia representaram 5,6% das emissões totais de N₂O em 2016, sendo basicamente devido à queima imperfeita de combustíveis.

No setor IPPU, as emissões de N₂O ocorrem durante a produção de ácido nítrico e ácido adípico — muito reduzidas nesses dois casos por conta dos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), implementados a partir de 2007 para redução de emissões — e na produção de metais. Em conjunto, essas atividades representaram 0,2% das emissões totais de N₂O em 2016.

As emissões de N₂O do setor Agropecuária corresponderam a 510,46 Gg em 2016, representando 87,1% das emissões desse gás do país. No setor, as emissões diretas pelo manejo de solos agrícolas responderam por 74,4% e as emissões indiretas, por 22,3%, enquanto as emissões provenientes do manejo de dejetos animais e da queima de resíduos agrícolas corresponderam a 3,1% e 0,2% do total, respectivamente.

No setor LULUCF, as emissões de N₂O ocorrem pela queima da biomassa associada à dinâmica de uso e cobertura da terra. Essas emissões representaram 5,6% do total de emissões de N₂O em 2016.

No setor Resíduos, as emissões de N₂O ocorrem, basicamente, devido à presença de nitrogênio na proteína de consumo humano, que termina lançado no solo ou em corpos d'água. Em 2016, a contribuição para a emissão total foi de 1,4%. Uma fração menor é proveniente da incineração de resíduos, com 0,1%.

A Figura 2.9 sumariza as emissões N₂O no Brasil, por setor.

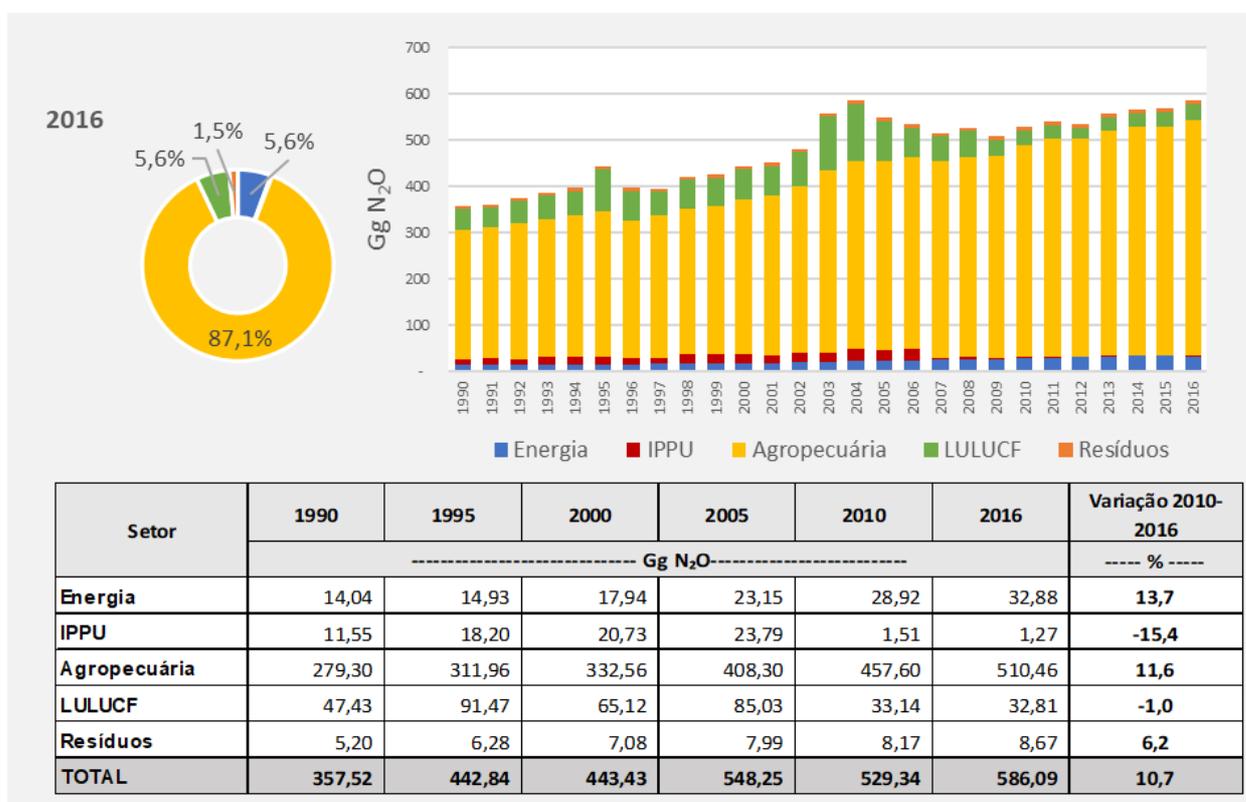


Figura 2.9. Emissões nacionais de N₂O, de todos os setores, de 1990 a 2016



4CN – Capítulo 2

2.2.4 Emissões de HFCs, PFCs e SF₆

Os gases HFCs, PFCs e SF₆ não existem originalmente na natureza, sendo sintetizados unicamente por atividades humanas. A principal contribuição dessa família de gases foi proveniente do uso de HFC-134a no subsetor ar-condicionado e refrigeração, com emissões fugitivas estimadas em 4.058,2 t HFC-134a em 2016 (98% das emissões de HFCs, em CO₂e). De 2010 a 2016, as emissões de HFCs aumentaram 99%, incremento semelhante ao observado no restante do mundo, por conta da substituição dos gases CFCs, destruidores da camada de ozônio, aliado ao maior uso de refrigeração e ar-condicionado.

As emissões de PFCs (CF₄ e C₂F₆) ocorrem durante o processo produtivo de alumínio primário, sendo estimadas em 38,1 t CF₄ e 2,8 t C₂F₆ em 2016 (91% e 9% das emissões de PFCs, respectivamente, em CO₂e), embora uma quantidade marginal de emissões de CF₄ tenha sido estimada na indústria eletrônica. De 2010 a 2016, as emissões de PFCs diminuíram 54% devido à desativação de parte das indústrias de produção de alumínio.

As emissões de SF₆ foram estimadas apenas em relação a vazamentos do gás em equipamentos elétricos de alta tensão e, em 2016, somaram 12,3 t. De 2010 a 2016, as emissões de SF₆ aumentaram 22%.

Na Tabela 2.4 são sumarizadas as emissões de HFCs, PFCs e SF₆, em CO₂e.

Tabela 2.4. Resultado das emissões de HFCs, PFCs e SF₆ (em CO₂e)

Gás	Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Var. 2010-16
		Gg CO ₂ e						%
HFC-23	2.B - Indústria química	1.407	1.791	NO	NO	NO	NO	NA
	2.E - Indústria eletrônica	NO	NO	NO	NO	0	0	356%
HFC-32	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	NO	NO	NO	47	NA
HFC-125	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	4	6	12	238	1832%
HFC-134a	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	495	1.190	2.835	5.368	89%
HFC-143a	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	6	10	20	53	170%
HFC-152a	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	0	24	NO	NO	NA
HFC-227ea	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	NO	NO	5	17	280%
HFC-365mfc	2.F - Substitutos para SDO*	NO	NO	NO	NO	0	5	1665%
CF ₄	2.C - Indústria Metalúrgica	1.964	1.989	952	805	535	248	-54%
	2.E - Indústria eletrônica	NO	NO	NO	NO	0	0	356%
C ₂ F ₆	2.C - Indústria Metalúrgica	242	242	108	95	59	26	-56%



4CN – Capítulo 2 |

Gás	Setor	1990	1995	2000	2005	2010	2016	Var. 2010-16
		Gg CO ₂ e						%
SF ₆	2.C - Indústria Metalúrgica	138	241	246	455	NO	NO	NA
	2.G – Fabricação/uso de outros produtos	130	128	154	190	241	295	22%

*Substitutos para SDO — Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio.

NO — não ocorre a emissão do gás

Obs: Os percentuais de variação (2010 a 2016) referem-se aos resultados não arredondados das emissões.

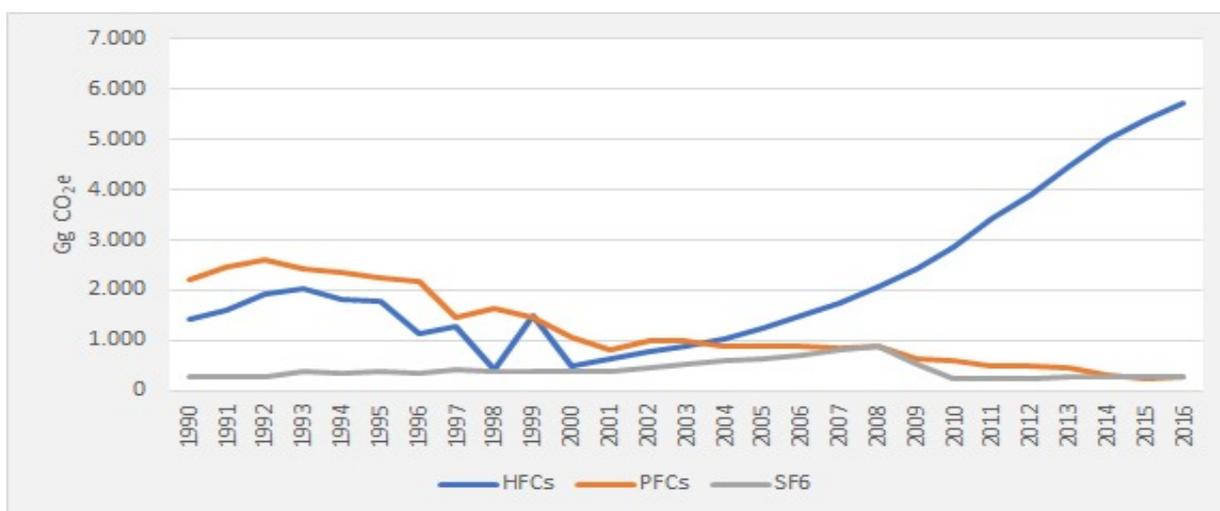


Figura 2.10. Emissões totais de HFCs, PFCs e SF₆, em Gg de CO₂e

2.2.5 Gases de efeito estufa indireto

Os gases de efeito estufa indireto, ou precursores, contribuem para a formação de ozônio troposférico³ que, por sua vez, é um gás de efeito estufa. Não foram contabilizados em CO₂e, dada a inexistência de métrica associada a eles pelo IPCC. Os gases de efeito estufa indireto inventariados foram: CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrogênio) e NMVOC (no acrônimo em inglês para compostos orgânicos voláteis não metano).

As emissões de CO e NO_x são, em sua quase totalidade, resultado da queima imperfeita de combustíveis. Para CO, as principais fontes foram a queima de biomassa no setor LULUCF e de combustíveis fósseis no setor Energia; para NO_x, a importância desses dois setores se invertem. Pequena parcela das emissões de CO resulta de processos produtivos, basicamente da produção de alumínio; em relação ao NO_x, alguma emissão ocorre no setor IPPU, na produção de ácido nítrico e alumínio.

As emissões de CO ocorreram majoritariamente no setor LULUCF, seguido do setor Energia; completam as emissões os setores IPPU e Agropecuária. Essas emissões foram estimadas em 24.044 Gg em 2016, tendo diminuído 9% desde 2010, principalmente devido à redução da queima da cana-de-açúcar, pelo avanço da colheita mecanizada, bem como aos novos controles de poluição dos veículos.

³ Situado na camada mais baixa de atmosfera.



4CN – Capítulo 2

O setor Energia emitiu a maior parte das emissões de NO_x , enquanto, na sequência, aparece o setor LULUCF, além dos setores IPPU e Agropecuária com participações bem menores. As emissões de NO_x foram estimadas em 2.548 Gg em 2016, 5% a menos desde 2010, principalmente devido aos novos controles de poluição dos veículos e também pela mecanização da colheita da cana.

As emissões de NMVOC são, em sua maioria, resultado do uso de solventes, mas também resultam da queima imperfeita de combustíveis ou dos processos da indústria. As emissões de NMVOC em 2016 foram estimadas em 3.241 Gg, valor 19% menor que em 2010, principalmente devido à redução no uso de solventes.

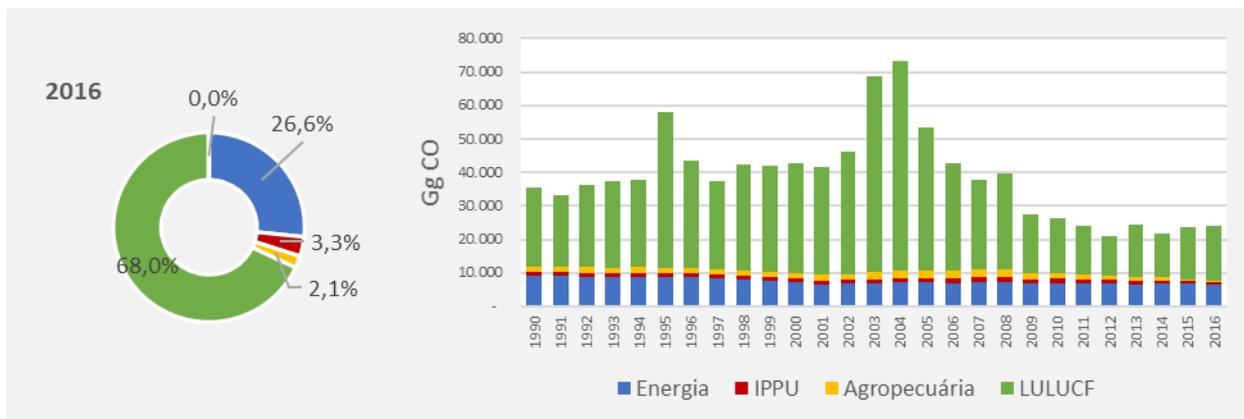


Figura 2.11. Emissões de CO, de 1990 a 2016

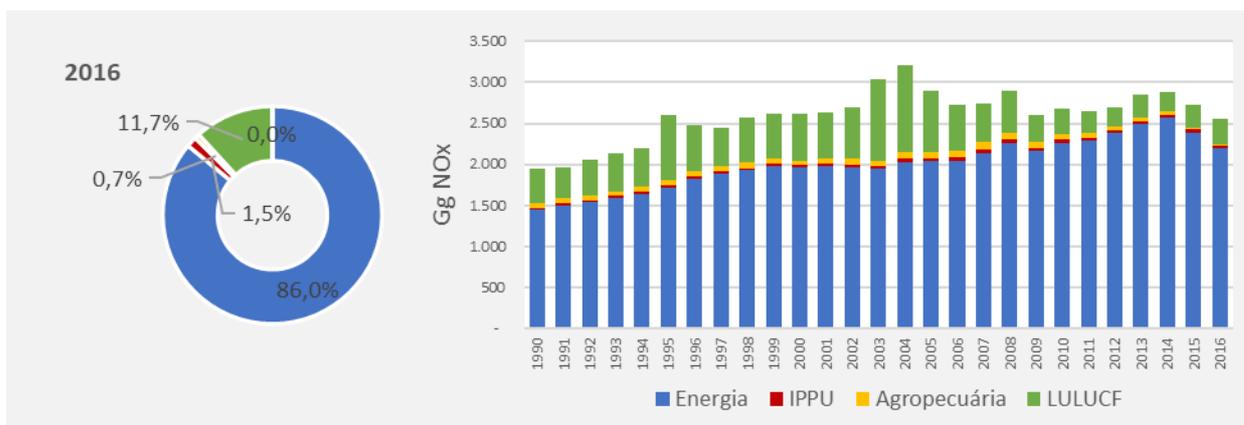


Figura 2.12. Emissões de NO_x , de 1990 a 2016

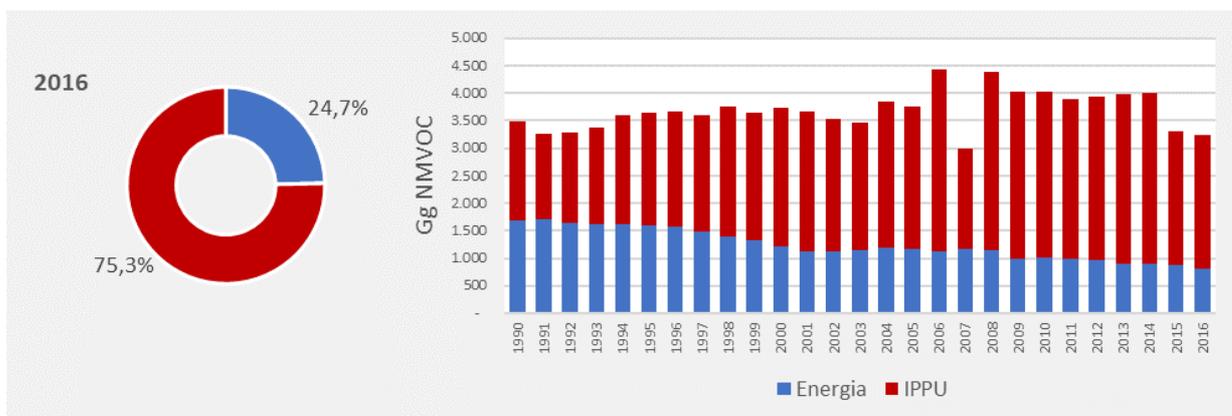


Figura 2.13. Emissões de NMVOC, de 1990 a 2016



4CN – Capítulo 2

2.3 SETOR ENERGIA (1)

As atividades do setor Energia relacionadas às emissões de GEE estimadas em inventários nacionais são: exploração e conversão de fontes de energia primária (produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, ex. petróleo, gás natural, carvão mineral, etc.); transmissão e distribuição de combustíveis; e uso de combustíveis em instalações e equipamentos.

Os gases inventariados para o setor foram CO₂, CH₄, N₂O, além dos gases de efeito estufa indireto — CO, NO_x e NMVOC. Os principais subsetores em Energia são Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) e Emissões Fugitivas (1.B). O subsetor Transporte e Armazenamento de CO₂ — 1.C não foi considerado neste Inventário, pois a Petrobras, apesar de possuir unidades em operação no Brasil com injeção de CO₂ para Recuperação Avançada de Petróleo (EOR, no acrônimo em inglês), não registrou a ocorrência de atividade de armazenamento do CO₂ no período de 1990 a 2016.

Consulte o **Apêndice** para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)

As estimativas de emissões no setor Energia totalizaram 423.580 Gg CO₂e em 2016, o que refletiu em um aumento de 13% com relação às emissões de CO₂e do setor em 2010 (Figura 2.14). O subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) contribuiu com a maior parte das emissões e representou 95% das emissões em CO₂e do setor, enquanto o subsetor Emissões Fugitivas (1.B) representou 5%.



Figura 2.14. Emissões do setor Energia, em CO₂e, por subsetor de 1990 a 2016

Para 2016, 96% das emissões de CO₂ do setor foram advindas de Atividades de Queima de Combustíveis (1.A). A categoria Transporte (1.A.3) foi a mais representativa, em razão da prevalência dessa atividade no país, contribuindo com 50% das emissões de CO₂. Para CH₄ e N₂O, as emissões do subsetor Atividades de Queima de Combustíveis corresponderam a 67% e 99%, respectivamente.

De acordo com a metodologia IPCC 2006, as emissões de CO₂ provenientes do consumo de combustíveis de biomassa são informadas, porém não são contabilizadas no total de emissões do setor.



4CN – Capítulo 2

2.3.1 Aspectos metodológicos do setor

A metodologia para o cálculo das emissões seguiu o IPCC 2006⁴. Para os dados de consumo e transformação de combustíveis, utilizou-se o Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2019). Para a modelagem em *Tier 2* dos gases não-CO₂, a desagregação do consumo de combustíveis entre as destinações finais de energia foi feita mediante a utilização das três edições do Balanço de Energia Útil (BEU)⁵, disponíveis no Brasil para 1983, 1993 e 2004. Para os demais anos, foram realizadas interpolações e extrapolações com os dados existentes. No caso de transporte aéreo e transporte rodoviário (força motriz), as modelagens propiciaram que as estimativas fossem ainda mais detalhadas e incorporassem as tecnologias utilizadas⁶. No Quadro 2.2, são apresentadas as fontes de informações utilizadas em cada categoria

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 2, Energy (IPCC, 2006).*

⁵ O Balanço de Energia Útil (BEU) permite processar as informações setoriais do BEN, de consumo de energia, para obter estimativas da Energia Final destinada aos Usos Finais: Força Motriz, Calor de Processo, Aquecimento Direto, Refrigeração, Iluminação, Eletroquímica e Outros Usos e, com base nos rendimentos do primeiro processo de transformação energética, estimar a Energia Útil (EPE, 2019).

⁶ Detalhamento disponível nos Relatórios de Referência: *Atividades de Queima de Combustíveis – Abordagem Setorial, Aviação Civil e Transporte Rodoviário.*



Quadro 2.2. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor Energia

Subsetor	Categoria	Subcategorias	Gases estimados e metodologias					Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade
1.A. Atividades de Queima de Combustíveis	1.A.1. Indústrias de Energia	1.A.1.a. Produção de Eletricidade e Calor como Atividade Principal	T2	T2	T2	T2	T2	T2	Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2019); Balanço de Energia Útil – BEU (1983,1993 e 2004). Volume 2, Capítulo 2 (IPCC, 2006); Volume 2 (IPCC, 1996); EMEP/EEA <i>Air Pollutant Emission Inventory Guidebook</i> (EMEP/EEA, 2013 e 2017); específicos para lenha e carvão vegetal (BRASIL, 2016).
		1.A.1.b. Refino de Petróleo	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
		1.A.1.c. Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
	1.A.2. Indústrias de Transformação e de Construção	1.A.2.a. Ferro e Aço	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
		1.A.2.b. Metais não Ferrosos	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
		1.A.2.c. Produtos Químicos	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
		1.A.2.d. Celulose, Papel e Impressão	T2	T2	T2	T2	T2	T2	
		1.A.2.e. Processamento de Alimentos, Bebidas e Tabaco	T2	T2	T2	T2	T2	T2	



Subsetor	Categoria	Subcategorias	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
		1.A.2.f. Minerais não Metálicos	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.g. Equipamentos de Transporte	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.i. Mineração (exceto combustíveis) e Extração	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.2.l. Têxtil e Couro	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.3. Transporte	1.A.3.a. Aviação Civil	T3a	T3a	T3a	T3a	T3a	T3a	Banco de Informações de Movimento de Tráfego Aéreo (BIMTRA); tempos médios para cada etapa do ciclo LTO (OACI, 2011; FOI, 2013); tempos médios de operação padrão APU para aeronaves (ACRP, 2012); Balanço Energético Nacional — BEN (EPE, 2019).	Volume 2, Capítulo 3 (IPCC, 2006); ANAC (2020).
		1.A.3.b. Transporte Rodoviário	T2	T3	T3	T3	T3	T3	Frota circulante: venda de veículos e curva de sucateamento (ANFAVEA, 2019; ABRACICLO, 2019; BRASIL, 2002; BRASIL, 2010; BRASIL, 2014; IBTS, 2019);	Volume 2, Capítulo 3 (IPCC, 2006); BRASIL (2014); CETESB (2019)



Subsetor	Categoria	Subcategorias	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
									Consumo de Combustível (CETESB, 2019; BRASIL, 2014; IBTS, 2019); e Intensidade de uso (BRASIL, 2014; GONÇALVES & D'AGOSTO, 2017; CETESB, 2019)	
		1.A.3.c. Transporte Ferroviário	T2	T2	T2	T2	T2	T2	Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2019); Balanço de Energia Útil – BEU (1983, 1993 e 2004).	Volume 2, Capítulo 2 (IPCC, 2006); Volume 2 (IPCC, 1996); EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (EMEP/EEA, 2013 e 2017); específicos para lenha e carvão vegetal (BRASIL, 2016).
		1.A.3.d. Transporte Hidroviário	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.3.e. Outros Transportes	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.4. Outros setores	1.A.4.a. Comercial e Institucional	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.4.b. Residencial	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.4.c. Agricultura, Silvicultura, Pesca e Piscicultura	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
	1.A.5. Não-especificado	1.A.5.a. Estacionária	T2	T2	T2	T2	T2	T2		
		1.A.5.b. Móvel	T2	T2	T2	T2	T2	T2		



Subsetor	Categoria	Subcategorias	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
		1.A.5.c. Operações Multilaterais	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
1.B. Emissões Fugitivas de Combustíveis	1.B.1. Combustíveis Sólidos	1.B.1.a. Mineração e Manejo do Carvão	NO	T1	NA	NA	NA	NA	Dados de produção de carvão da Associação Brasileira do Carvão Mineral (ABCM, 2019)	Volume 2, Capítulo 4 (IPCC, 2006)
		1.B.1.b. Combustão Espontânea e Aterros para Queima de Carvão	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
		1.B.1.c. Transformação de Combustível Sólido	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
	1.B.2. Petróleo e Gás Natural	1.B.2.a. Petróleo	T2, T3	T2, T3	T2, T3	NE	NE	NE	Resultados de emissões de GEE da Petrobras; Dados de produção e refino da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019); volume de carga processada do Balanço Energético Nacional (EPE, 2019).	Relacionados aos protocolos aplicados pelas áreas e fontes de emissões das categorias
		1.B.2.b. Gás Natural	T2, T3	T2, T3	T2, T3	NE	NE	NE		

Nota: níveis metodológicos (IPCC, 2006) — T1: Tier 1; T2: Tier 2; T3: Tier 3.

Notações: NA — não aplicável, pois não há metodologia para estimar as emissões; NO — não ocorre a emissão do gás no país; NE — não estimada.



A principal fonte de dados para os fatores de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O foi o IPCC 2006. No caso dos gases não-CO₂ (CH₄, N₂O, CO, NO_x e NMVOC), as emissões não dependem somente do tipo de combustível utilizado, mas também da tecnologia de combustão empregada e das condições de operação. Sendo assim, o cálculo mais preciso das emissões desses gases exige dados mais desagregados e metodologia detalhada (*Tier 2* e *Tier 3*). Alguns fatores de emissão utilizados para CH₄ e N₂O foram obtidos do EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*, em suas edições de 2013 e 2016 (EMEP/EEA, 2013 e 2017). Na ausência de fatores de emissão adequados nas diretrizes citadas, foram mantidos os do IPCC 1996.

Os fatores de emissão de gases não-CO₂ utilizados nas estimativas das categorias Aviação Civil (1.A.3.a) e Transporte Rodoviário (1.A.3.b) variaram ao longo do período do Inventário e foram obtidos pelas modelagens em *Tier 3a* e *Tier 3*, respectivamente. Essas modelagens foram utilizadas para a desagregação com maior nível de detalhamento que as estimativas das demais categorias. Das modelagens em *Tier 3a* e *Tier 3*, obtiveram-se fatores de emissão médios por combustíveis, para cada ano inventariado.

Alguns dos dados de atividades e resultados de emissões não foram passíveis de desagregação no Inventário. Essas informações foram obtidas de modo agregado e assim foram relatadas. O Quadro 2.3 apresenta as alocações das emissões das subcategorias que não puderam ser desagregadas no setor Energia.

Quadro 2.3. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no setor Energia

Código	Categorias realocadas	Destino da realocação
1.A.1.a.i	Geração de Eletricidade	1.A.1.a Produção de Eletricidade e Calor como Atividade Principal
1.A.1.a.ii	Geração combinada de calor e energia (CHP)	1.A.1.a Produção de Eletricidade e Calor como Atividade Principal
1.A.1.a.iii	Plantas geradoras de calor	1.A.2 Indústrias de Transformação e Construção
1.A.1.c.i	Produção de combustíveis sólidos	1.A.1.c Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia
1.A.1.c.ii	Outras indústrias de energia	1.A.1.c Produção de Combustíveis Sólidos e Outras Indústrias de Energia
1.A.2.h	Maquinário	1.A.2.g Equipamentos de Transporte
1.A.2.j	Madeira e produtos de madeira	1.A.2.d Celulose, Papel e Impressão
1.A.2.k	Construção	1.A.2.g Equipamentos de Transporte
1.A.2.m	Não especificado	1.A.2.g Equipamentos de Transporte
1.A.3.e.ii	<i>Off-road</i> (fora de estrada)	Distribuído setorialmente no BEN
1.A.4.c.i	Estacionária	1.A.4.c Agricultura, Silvicultura, Pesca e Piscicultura
1.A.4.c.ii	Veículos <i>Off-road</i> e outras máquinas	1.A.4.c Agricultura, Silvicultura, Pesca e Piscicultura



Código	Categorias realocadas	Destino da realocação
1.A.4.c.iii	Pesca (combustão móvel)	1.A.4.c Agricultura, Silvicultura, Pesca e Piscicultura
1.A.5.b.ii	Móvel (componente navegação)	1.A.4.a Comercial e Institucional
1.B.2.biii.2	Produção (Gás Natural)	1.B.2.a.iii.2 Produção e Refino (Petróleo)

Para algumas subcategorias não foi possível calcular as emissões, dada, principalmente, a falta de informações. No Quadro 2.4, foram compiladas as subcategorias para as quais os GEE não foram estimados no setor Energia.

Quadro 2.4. Subcategorias não estimadas (NE) para o setor Energia

Código	Subcategoria	Observações
1.A.3.b.v.i	Catalisadores a base de ureia	Emissões não consideradas dada a falta de informações nacionais.
1.B.1.a.i.3	Minas subterrâneas abandonadas	Não há informações suficientes para a caracterização das minas abandonadas no país, de modo a estimar as emissões após o encerramento de suas atividades.
1.B.2.a.iii.1	Exploração (Petróleo)	Até o Quarto Inventário, a Petrobras não possuía informações suficientes para que as emissões dessas subcategorias pudessem ser estimadas.
1.B.2.a.iii.5	Distribuição de produtos de petróleo	
1.B.2.b.iii.1	Exploração (Gás Natural)	
1.B.2.b.iii.5	Distribuição (Gás Natural)	

Comparação entre abordagem de Referência e abordagem Setorial

O cálculo das emissões de GEE para queima de combustíveis fósseis deve ser elaborado a partir de duas abordagens, de acordo com o IPCC 2006: Abordagem de Referência (metodologia *top-down*) e Abordagem Setorial (metodologia *bottom-up*). As emissões que integram a contabilização dos inventários nacionais são as realizadas com a Abordagem Setorial. A Abordagem de Referência, mais simplificada, consiste no cálculo a partir de dados agregados sobre a oferta de combustíveis. Para tal, utiliza-se o conceito de consumo aparente: soma-se a produção de combustíveis primários e a importação de combustíveis primários e secundários, e subtrai-se a exportação de combustíveis primários e secundários, de *bunkers*⁷ e a variação de estoque (que pode ser positiva ou negativa). A partir desse resultado, estimam-se as emissões de CO₂ com base no conteúdo de carbono dos combustíveis.

Para a Abordagem Setorial, são utilizadas informações sobre o consumo de combustíveis por setor energético, que é multiplicado pelos fatores de emissão correspondentes. O cálculo das emissões de CO₂ com as duas abordagens pode

⁷Na abordagem Setorial as emissões de bunkers internacionais devem ser calculadas e relatadas, no entanto não são computadas no total do país.



levar a resultados diferentes, mas é utilizado como controle de qualidade dos resultados do setor. De acordo com IPCC 2006, diferenças acima de 5% são consideradas significativas e devem ser investigadas e explicadas.

Para o Quarto Inventário foi observada uma média de variação percentual de 1,7% entre a Abordagem de Referência e a Abordagem Setorial, para a série histórica de 1990 a 2016, com um máximo absoluto de 3,7% em 1998. Em 2016, a diferença entre as duas abordagens foi de -0,1%, conforme Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Comparação entre as abordagens de Referência e Setorial no setor Energia

Ano	Abordagem de Referência (Gg CO ₂)	Abordagem Setorial (Gg CO ₂)	Diferença
1990	174.697	170.855	2,2%
1991	180.552	174.530	3,5%
1992	184.171	179.832	2,4%
1993	190.501	185.032	3,0%
1994	199.495	193.483	3,1%
1995	213.954	210.030	1,9%
1996	232.839	226.662	2,7%
1997	248.007	241.647	2,6%
1998	257.084	248.026	3,7%
1999	264.100	256.773	2,9%
2000	266.109	262.738	1,3%
2001	278.428	269.687	3,2%
2002	273.030	267.097	2,2%
2003	262.993	259.898	1,2%
2004	279.238	275.107	1,5%
2005	283.974	279.894	1,5%
2006	287.083	285.827	0,4%
2007	299.812	298.680	0,4%
2008	318.148	317.169	0,3%
2009	302.768	300.476	0,8%
2010	344.435	339.596	1,4%
2011	357.952	356.153	0,5%
2012	387.867	387.400	0,1%
2013	422.113	418.400	0,9%
2014	445.837	443.238	0,6%
2015	420.273	418.006	0,5%
2016	385.396	385.850	-0,1%



Bunker internacional

De acordo com IPCC 2006, as emissões decorrentes de queima de combustíveis em atividade internacional (*bunker*), para as quais ainda não há um critério de divisão de responsabilidades, não devem ser contabilizadas nos inventários nacionais, porém devem ser informadas para fins de composição dos dados globais. Essas emissões estão relacionadas aos voos e ao transporte marítimo e fluvial que saem de um país e chegam a outro. Para este Inventário, as subcategorias que possuem emissões vinculadas a *bunkers* foram:

- 1.A.3.a.i. Aviação Internacional
- 1.A.3.d.i. Navegação Internacional

• Aviação Internacional

Para a estimativa de emissões de *bunker* na aviação de 2005 a 2016, foram utilizadas informações referentes ao querosene de aviação consumido em voos internacionais, a partir da modelagem *bottom-up* (ANAC, 2020). A divisão em voos domésticos e bunker não foi necessária no caso da gasolina de aviação, visto que a utilização dessa fonte energética é convencionalmente empregada em aeronaves pequenas que operam em rotas domésticas. O cálculo das emissões de 1990 a 2004 foi realizado a partir das informações de consumo de bunker do BEN, ajustadas pela técnica de sobreposição (*overlap*) para manutenção da consistência temporal da série histórica, e considerou os fatores de emissão implícitos obtidos em 2005 (da modelagem *bottom-up* supracitada).

A Figura 2.15 ilustra a evolução das emissões em CO₂e para aviação nacional e internacional.

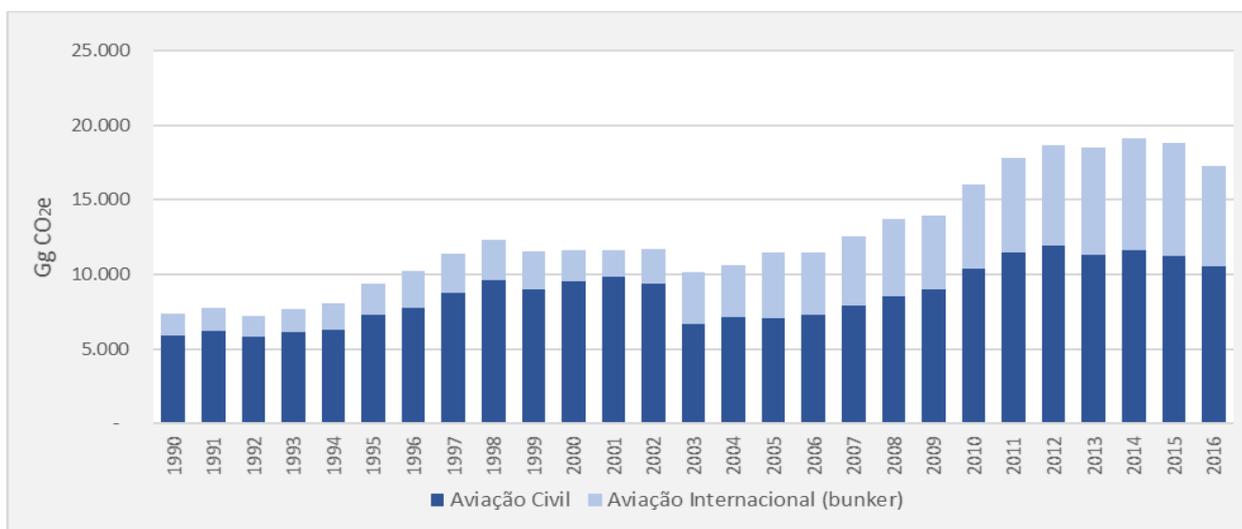


Figura 2.15. Série histórica das emissões de CO₂e para Aviação Civil e Internacional, de 1990 a 2016



- **Navegação Internacional**

Para o cálculo das emissões relacionadas à navegação internacional foram considerados os consumos de *bunkers* de óleo combustível e óleo diesel indicados no BEN, referentes ao transporte hidroviário internacional. A partir do consumo desses combustíveis, foram aplicados fatores de emissão específicos. Na Figura 2.16 é apresentada a evolução das emissões em CO₂e para navegação nacional e internacional.

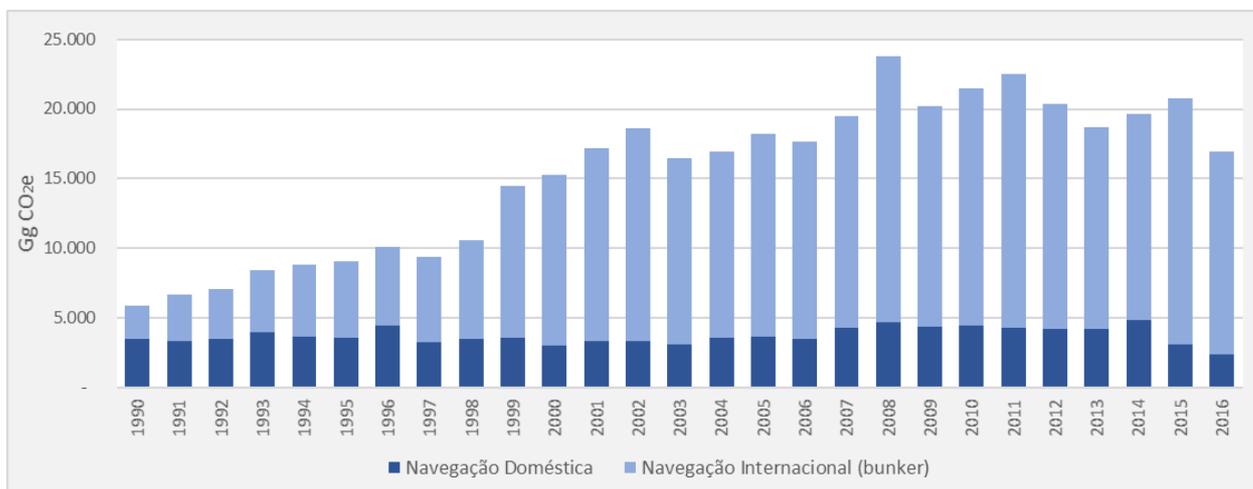


Figura 2.16. Série histórica das emissões de CO₂e para Navegação Doméstica e Internacional, de 1990 a 2016

Combustíveis de uso não energético

A fim de evitar dupla contagem, as emissões de uso não energético de combustíveis não são contabilizadas no setor Energia e as suas emissões foram alocadas em IPPU, conforme descrito a seguir:

- Indústria Metalúrgica: combustíveis utilizados como redutores na indústria de ferro-gusa e aço, ferroligas e não ferrosos. Ressalta-se que são considerados redutores os valores de coque de petróleo, carvões betuminosos, coque de carvão mineral e carvão vegetal, cujo uso final se dá em aquecimento direto, de acordo com o Balanço de Energia Útil (BEU).
- Produtos não energéticos de combustíveis e solventes: combustíveis como asfalto, lubrificantes, solventes e outros produtos não energéticos de petróleo, especificados no BEN.
- Indústria Química: todos os combustíveis contabilizados como “consumo final não energético” no BEN, à exceção daqueles incluídos no item acima.



2.3.2 Atividades de Queima de Combustíveis (1.A)

No subsetor Atividades de Queima de Combustíveis (1.A) são contabilizadas as emissões por oxidação do carbono contido nos combustíveis durante o seu uso final, ou na geração de eletricidade. Os gases considerados nesse subsetor foram CO₂, CH₄ e N₂O, além dos gases de efeito estufa indireto (CO, NO_x e NMVOC).

Em 2016, esse subsetor totalizou 403.772 Gg CO₂e. A categoria Transporte (1.A.3) teve a maior participação, com 51,1% do total de CO₂e emitido em 2016. Indústrias de Energia (1.A.1) e Indústrias de Transformação e de Construção (1.A.2) corresponderam a 19,5% e 18,6%, respectivamente. De 2010 a 2016, as emissões totais do subsetor aumentaram 13% em CO₂e.

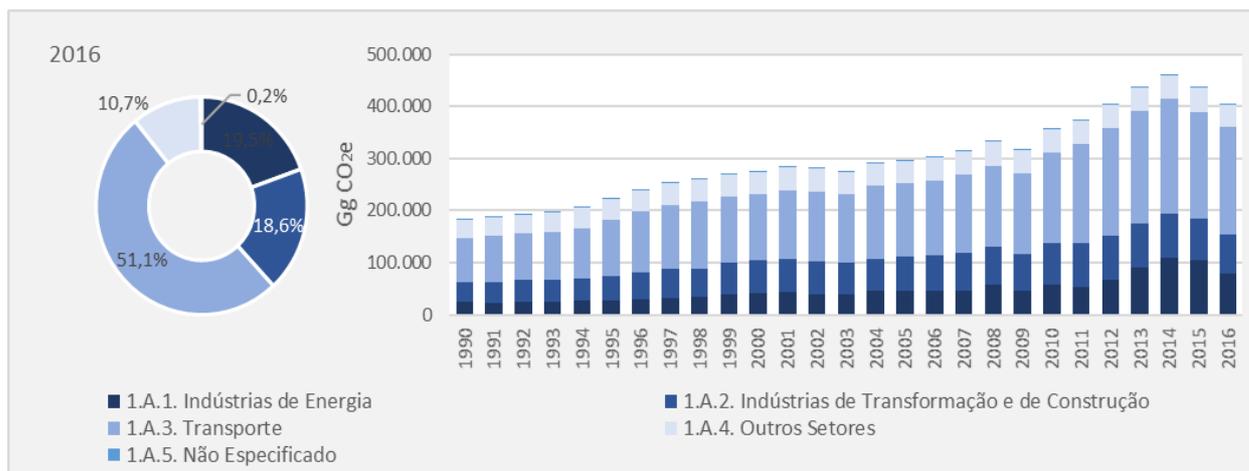


Figura 2.17. Emissões de Atividades de Queima de Combustíveis (1.A), em CO₂e, por categoria de 1990 a 2016

Na categoria Indústrias de Energia (1.A.1), as emissões mais representativas em 2016 foram decorrentes da queima de combustíveis para a geração de eletricidade, que corresponderam a 54,4% da categoria.

Para a categoria Indústrias de Transformação e de Construção (1.A.2), o consumo de energia na indústria de minerais não metálicos representou a maior participação nas emissões de GEE da categoria em 2016 (com 25,7%), seguida pela indústria de produtos químicos (18,8%) e metais não ferrosos (12%).

Em Transporte (1.A.3), o modal rodoviário participou com 91,5% do total de emissões da categoria em 2016. Desses, caminhões pesados e ônibus representaram 55,3%, e os automóveis participaram com 35,9%.

Em 2016, para a categoria Outros Setores (1.A.4), o setor residencial contribuiu com 56,1% das emissões, principalmente devido ao uso da lenha para cocção.

A categoria indicada como Não Especificado (1.A.5) referiu-se majoritariamente ao componente aviação, devido ao consumo de combustíveis em helicópteros, pequenas aeronaves e aeronaves militares, não incluídos na categoria Transporte (1.A.3).

2.3.3 Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis (1.B)

Os GEE emitidos acidentalmente ou intencionalmente durante a extração, o processamento, o armazenamento e o transporte de combustíveis fósseis até o seu uso final são referidos como emissões fugitivas. Desta maneira, o subsetor Emissões Fugitivas a partir da Produção de Combustíveis, ou apenas Emissões Fugitivas (1.B), está



relacionado com as emissões dos sistemas de produção de combustíveis, com exceção das contribuições pela combustão dos combustíveis.

No Brasil, essas emissões referem-se ao processo de mineração e beneficiamento do carvão mineral (1.B.1.a Mineração e Manejo do Carvão), além daquelas associadas ao processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural (1.B.2 Petróleo e Gás Natural). Em 2016, as emissões desse subsetor totalizaram 19.807 Gg CO₂e, com aumento de 15% em relação ao resultado de 2010.

Dadas as características nacionais, para a Mineração e Manejo do Carvão (1.B.1.a) foi estimado apenas o CH₄, e para a categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) foram considerados os gases CO₂, CH₄ e N₂O.

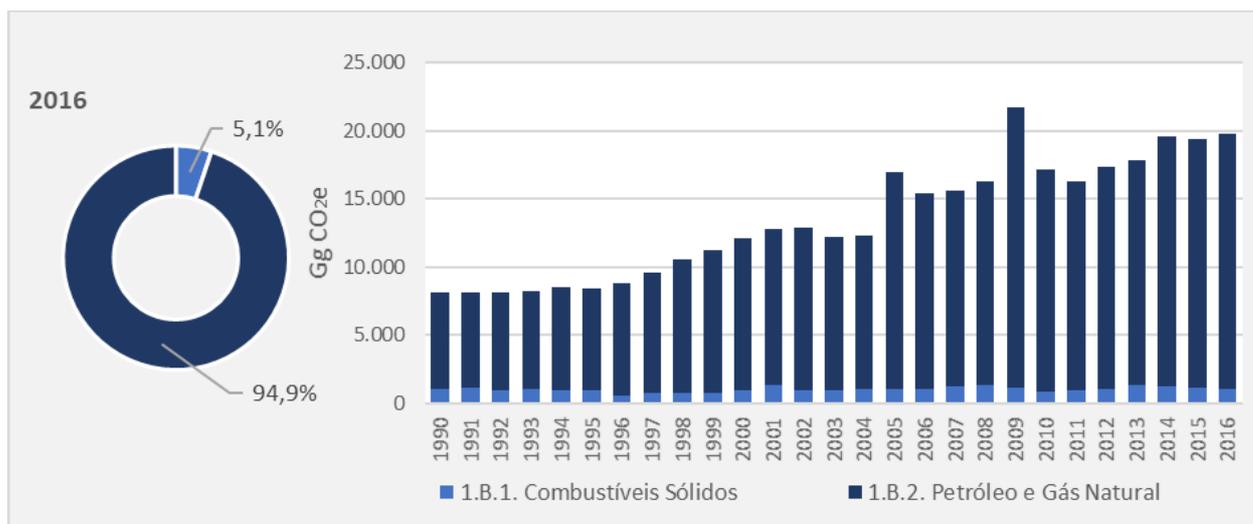


Figura 2.18. Emissões do subsetor Emissões Fugitivas (1.B), em CO₂e, por categoria de 1990 a 2016

A categoria Combustíveis Sólidos (1.B.1), integralmente representada pela subcategoria Mineração e Manejo do Carvão (1.B.1.a), contribuiu, em 2016, com 5,1% das emissões totais de CO₂e do subsetor. As emissões dessa subcategoria referem-se às operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral, e compreendem as emissões fugitivas de CH₄ das minas superficiais e subterrâneas, além das atividades de pós-mineração. A quantidade de CH₄ liberada durante a mineração depende da classificação do carvão, da profundidade em que o mesmo se encontra, do seu conteúdo de gás e do método de mineração.

Em 2016, a subcategoria Minas Subterrâneas (1.B.1.a.i) foi responsável por 90,9% das emissões de CO₂e da categoria Combustíveis Sólidos (1.B.1), sendo o restante das emissões correspondente às Minas Superficiais (1.B.1.a.ii).

A categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) representou 94,9% das emissões de CO₂e do subsetor (1.B), sendo que 94,7% das emissões dessa categoria estiveram relacionados ao Petróleo (1.B.2.a) e 5,3% ao Gás Natural (1.B.2.b), em 2016. Dos gases estimados no subsetor (1.B), o CO₂ representou 80% das emissões em 2016, seguido por CH₄ com 19,7% e N₂O com 0,3%.

As emissões da categoria Petróleo e Gás Natural (1.B.2) incluem as emissões fugitivas de CH₄ durante a extração de petróleo e gás natural, seu transporte e distribuição em dutos e navios e seu processamento nas refinarias. São também consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O por queima em tochas (*flare*) nas plataformas de extração de petróleo e gás natural e nas unidades de refinaria. As emissões de CO₂ por queima em tochas, ou combustão não útil, são incluídas como emissões fugitivas, mesmo sendo resultado de combustão, porém estão associadas à perda e não ao consumo útil do combustível. O uso de petróleo e gás natural, ou de seus derivados, para fornecer energia para uso interno na produção de energia e transporte é considerado como combustão e, portanto, tratado no subsetor Atividade de Queima de Combustíveis (1.A.).



2.4 SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (2)

As emissões relacionadas às atividades do setor Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) são aquelas resultantes dos processos produtivos nas indústrias, inclusive o consumo não energético de combustíveis como matéria-prima. A queima de combustíveis para fins energéticos é relatada no setor Energia (1.A).

Foram considerados os seguintes subsetores: Indústria Mineral (2.A), Indústria Química (2.B), Indústria Metalúrgica (2.C), Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), Indústria Eletrônica (2.E), Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) e Outros (2.H).

Os gases inventariados no setor foram: CO₂, CH₄, N₂O e SF₆; os pertencentes à família dos HFCs (hidrofluorcarbonos) — HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, HFC-152a, HFC-227ea e HFC-365mfc; e os PFCs (perfluorcarbonos) — CF₄ e C₂F₆. Não foi identificado o uso de NF₃ (trifluoreto de nitrogênio) no país.

As estimativas de emissões do setor IPPU totalizaram 93.359 Gg de CO₂e em 2016, o que indicou um aumento de 7% em relação a 2010, conforme ilustra a Figura 2.19. O subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) contribuiu com a maior parte das emissões, com uma representação de 52% das emissões em CO₂e do setor em 2016. O subsetor Indústria Mineral (2.A) foi o segundo mais representativo, com 31%.

Para 2016, as emissões de CO₂ representaram 92% do total do setor (em CO₂e), com a contribuição dos subsetores Indústria Metalúrgica (2.C) e Indústria Mineral (2.A) de 56% e 34%, respectivamente.

*Consulte o **Apêndice** para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)*

Em seguida ao CO₂, houve a participação dos gases HFCs, com 6% do setor, com destaque para o subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F), que representou quase 100% deles.

O CH₄ teve 0,8% de participação das emissões de GEE do setor em 2016, sendo 65% provenientes do subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) e 35% do subsetor Indústria Química (2.B).

O N₂O respondeu por 0,4% das emissões em 2016, divididas entre o subsetor Indústria Metalúrgica (2.C), com 66%, e o subsetor Indústria Metalúrgica (2.C), com 34%.

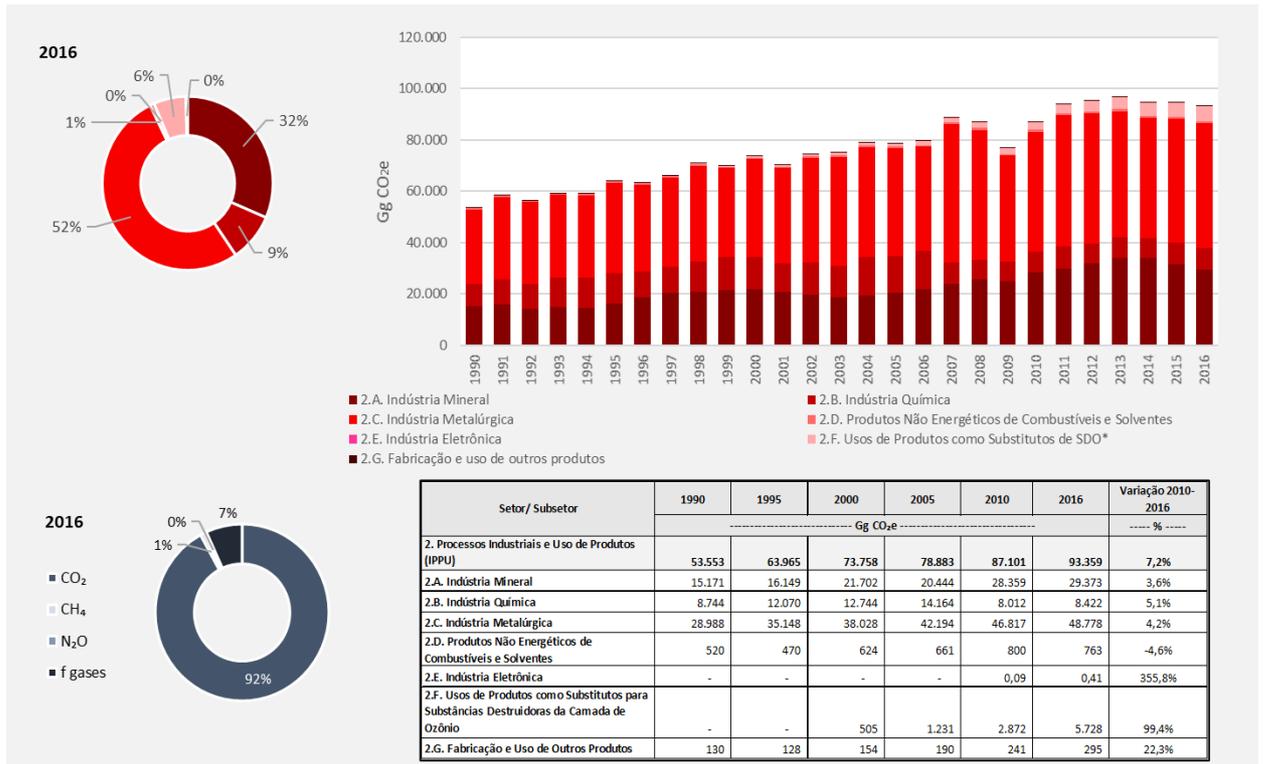


Figura 2.19. Emissões do setor Processos Industriais e Uso de Produtos, em CO₂e, por subsetor, de 1990 a 2016

As participações das emissões dos PFCs e do SF₆ foram iguais, 0,3% cada um, sendo os primeiros emitidos quase totalmente devido à produção de alumínio e o segundo devido à Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G), mais especificamente em equipamentos elétricos.



2.4.1 Aspectos metodológicos do setor

A metodologia para o cálculo das emissões foi a indicada no IPCC 2006⁸. Para os fatores de emissão de gases de efeito estufa indireto, sobre os quais não há atualizações, usou-se a referência do IPCC 1996⁹. Sempre que possível, foram adotados parâmetros ou fatores de emissão disponíveis na literatura nacional, como por exemplo na produção de cerâmica, ou utilizados na indústria, como ocorreu na produção de ferro e aço, na de cimento e na indústria química, de forma a retratar a realidade do país e evitar o uso de valores *default* do IPCC. Os dados obtidos de fontes oficiais foram complementados por informações provenientes do setor produtivo, por meio de suas associações de classe.

O acesso aos dados de atividades e outros parâmetros no setor IPPU apresentou desafios particulares, por muitas vezes envolver a confidencialidade de informações das empresas no que tange aos processos tecnológicos ou mesmo à quantidade de suas produções. Para alguns subsetores, como produção de cimento, de alumínio, e de ferro e aço, as quantidades produzidas estavam disponíveis em publicações oficiais, tais como no Sistema IBGE de Recuperação Automática — SIDRA (IBGE, 2017b), BEN (EPE, 2019) e Anuários Estatísticos do Setor Metalúrgico e do Setor de Transformação de Não Metálicos (MME, 2019), eventualmente sem o refinamento desejado para aplicação no Inventário. Para complementar as informações relacionadas a alguns parâmetros e fatores de emissão desses subsetores, as associações industriais foram importantes, seja pelo acesso às suas publicações, seja pelo contato direto com as empresas.

Para os subsetores Produção de Cimento (2.A.1) e Produção de Alumínio (2.C.3), foram obtidas informações agregadas de associações industriais referentes às estimativas mais precisas (*Tier 3*), para anos específicos, de empresas associadas. Na ausência desses valores, foram realizadas extrapolações com os dados disponíveis. Para o subsetor de Produção de Ferro e Aço (2.C.1), dados recolhidos pelo Instituto Aço Brasil junto às suas associadas permitiram um balanço geral de carbono para o cálculo do CO₂ (*Tier 2*).

Na Indústria Química (2.B), para produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Ácido Adípico (2.B.3), a existência de projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)¹⁰ permitiu o acesso a dados detalhados de empresas, com base nos relatórios publicados de monitoramento das operações de reduções de GEE.

No Quadro 2.5, são apresentados o detalhamento das metodologias, os parâmetros, os fatores de emissão e as fontes de informações utilizadas em cada categoria do setor IPPU.

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 3, Industrial Processes and Product Use (IPCC, 2006).*

⁹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 3, Industrial Processes and Product Use (IPCC, 1996).*

¹⁰ Página do MDL, disponível no link <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.



Quadro 2.5. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor IPPU

Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
2.A. Indústria Mineral	2.A.1. Produção de Cimento	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção total de clínquer (SNIC, 2013).	Dados provenientes do SNIC (2013), com último cálculo de fatores de emissão tendo sido feito efetivamente em 2010. A partir de 2011, o fator implícito foi a média dos anos 2008 a 2010.
	2.A.2. Produção de Cal	T2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de cal virgem e hidratada (ABPC, 2014). A partir de 2015, mantidos os valores de 2014. Composição média das cales segundo a variação permitidas pelas normas brasileiras.	Volume 3, Capítulo 2 (IPCC, 2006)	
	2.A.3. Produção de Vidro	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de vidro do Anuário Estatístico — Setor Transformação de Não-Metálicos (MME, 2019). Após os últimos dados (2011), a produção foi calculada com índices de evolução do IBGE, para "23.1 Fabricação de vidro e de produtos do vidro".	Estequiometria dos processos químicos, a partir da composição média da matéria-prima dos vidros, segundo o Anuário, com fatores de emissão do Volume 3, Capítulo 2 (IPCC, 2006)	
	2.A.4. Outras Utilizações de Carbonatos em Processos	T2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Cerâmica: Produção (IBGE, 2017b), distribuição da produção nacional pelo Anuário de Estatístico do Setor Transformação de Não Metálicos (MME, 2019) e pela Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2019); Barrilha: Produção, importação e exportação (ABIQUIM, 2014); Magnesita: Dados do	Para cerâmica foram consultadas diversas publicações que diferenciaram os parâmetros de acordo com características dos vários estados e regiões do país. Estequiometria dos processos



Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
											Sumário Mineral (ANM, 2016) e Balanço Mineral Brasileiro 2001 (ANM, 2001).	químicos; Volume 3, Capítulo 2 (IPCC, 2006)
2.B. Indústria Química	2.B.1. Produção de Amônia	T3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Produção de amônia (ABIQUIM, 2014); Ureia (IBGE, 2017b), para anos anteriores a 2005, combinado com dados ABIQUIM de 2005 a 2007.	Fator específico nacional, descontando-se a emissão de CO ₂ da ureia.
	2.B.2. Produção de Ácido Nítrico	NA	NA	T3/ T1	NA	T1	NA	NA	NA	NA	Produção até 2007 (ABIQUIM, 2009). Após, pelo monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).	Dados Abiquim (2009) e de monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).
	2.B.3. Produção de Ácido Adípico	NA	NA	T3	T1	T1	NA	NA	NA	NA	Produção até 2010 (ABIQUIM, 2009; 2012). Após, pelo monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).	Dados Abiquim (2012) e de monitoramento de projetos MDL (UNFCCC, 2019).
	2.B.4. Caprolactama, Glioxal e Produção de Ácido Glioxílico	NA	NA	T1/ NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ABIQUIM (2014)	Volume 3, Capítulo 3 (IPCC, 2006)
	2.B.5. Produção de Carureto	T1	NO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Informações específicas da planta até 2007, com complemento até 2010 (ABIQUIM, 2012); repetição até 2016.	Informações específicas da planta até 2007; 2008 a 2010 ABIQUIM (2012); repetição até 2016.
	2.B.6. Produção de	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	



Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão	
	Dióxido de Titânio												
	2.B.7. Produção de Carbonato de Sódio	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
	2.B.8. Produção de Petroquímica e Negro de Fumo	T1	T1	NA	NA	T1	T1	NA	NA	NA	ABIQUIM (2020).		Volume 3, Capítulo 3 (IPCC, 2006)
	2.B.9. Produção de Fluoroquímicos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	Prozon (1999)		Volume 3, Capítulo 3 (IPCC, 2006)
2.C. Indústria Metalúrgica	2.C.1. Produção de Ferro e Aço	T2	T1	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Instituto Aço Brasil (IABR, 2017)		CO ₂ : balanço de carbono (IABR, 2020). Não-CO ₂ : Volume 2, Capítulo 2 (IPCC, 2006)
	2.C.2. Produção de Ferroligas	T2	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional — BEN (EPE, 2019)		Volume 3, Capítulo 4 (IPCC, 2006)



Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
	2.C.3. Produção de Alumínio	T1/ T2/ T3	NA	NA	T1	T1	NA	NA	T1/ T2/ T3	NA	ABAL (2019)	CO ₂ e PFCs: ABAL (2019); não-CO ₂ : IPCC (1996)
	2.C.4. Produção de Magnésio	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T1	RIMA Industrial (2009). Após 2005, monitoramento de projeto MDL (UNFCCC, 2019).	Volume 3, Capítulo 4 (IPCC, 2006)
	2.C.5. Produção de Chumbo	IE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.C.6. Produção de Zinco	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.C.7. Outro (não-ferrosos, fora alumínio e magnésio)	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional — BEN (EPE, 2019)	Volume 3, Capítulo 4 (IPCC, 2006)
2.D. Produtos não energéticos de combustíveis e solventes	2.D.1. Uso de Lubrificantes	T1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional — BEN (EPE, 2019)	Volume 3, Capítulo 5 (IPCC, 2006)
	2.D.2. Uso de Cera de Parafina	IE	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.D.3. Outros	T1	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	Balanço Energético Nacional — BEN (EPE, 2019)	IPCC (1996)



Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
2.E. Indústria eletrônica	2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IE	IE	NO		
	2.E.2. Display de Tela Plana TFT	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IE	IE	NO		
	2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NE	NE	NO		
	2.E.4. Fluido de Transferência de Calor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO	NO		
	2.E.5. Outros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	T2a	NO	Estatística comércio exterior - Comex Stat (ME, 2019)	Volume 3, Capítulo 6 (IPCC, 2006)
2.F. Usos de produtos como substitutos para substâncias destruidoras da camada de ozônio	2.F.1. Refrigeração e Ar-Condicionado	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NO	NA	Estatística comércio exterior - Comex Stat (ME, 2019), IBGE (2017b), ELETROS (2019)	Volume 3, Capítulo 7 (IPCC, 2006)
	2.F.2. Agentes de Espuma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NO	NA	Estatística comércio exterior - Comex Stat (ME, 2019)	Volume 3, Capítulo 7 (IPCC, 2006)
	2.F.3. Proteção	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NO	NA	Estatística comércio exterior - Comex Stat (ME, 2019)	Volume 3, Capítulo 7 (IPCC, 2006)



Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM ₂ VOC	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
	Contra Incêndio											
	2.F.4. Aerossóis	NA	NA	NA	NA	NA	NA	T2a	NO	NA	Estatística comércio exterior - Comex Stat (ME, 2019)	Volume 3, Capítulo 7 (IPCC, 2006)
	2.F.5. Solventes	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NE	NE	NA		
	2.F.6. Outras Aplicações	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO	NA		
2.G. Fabricação e uso de outros produtos	2.G.1. Equipamento Elétrico	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	T1	Pesquisa nacional MCT (2009)	Volume 3, Capítulo 8 (IPCC, 2006)
	2.G.2. SF ₆ e PFCs de Uso de Outros Produtos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NO	NO		
	2.G.3. N ₂ O dos Usos de Produto	NA	NA	NE	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	2.G.4. Outros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
2.H. Outros	2.H.1. Indústria de	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	IBA (2019)	IPCC (1996)



4CN – Capítulo 2

Subsetor	Categoria	Gases estimados e metodologias									Referências	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM/VOG	HFCs	PFCs	SF ₆	Dados de atividade	Fatores de Emissão
	Papel e Celulose											
	2.H.2. Indústria de Alimentos e Bebidas	NA	NA	NA	NA	NA	T1	NA	NA	NA	Alimentos em geral e cervejas: IBGE (2017b); Açúcar: UNICA (2019); Vinhos: IBRAVIN (2019), UVIBRA (2019), após 2004 (IBGE, 2017b).	IPCC (1996)
	2.H.3. Outras	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		

Nota: níveis metodológicos IPCC, 2006 — T1: Tier 1; T2: Tier 2; T3: Tier 3.

Notações: NA — não aplicável, pois não há metodologia para estimar as emissões; IE — incluído em outro local; NO — não ocorre a emissão do gás no país; NE — não estimada.



Alguns dos dados de atividades e resultados de emissões não foram passíveis de desagregação no Inventário, portanto, essas informações foram obtidas de modo agregado e foram assim relatadas. O Quadro 2.6 apresenta as alocações das emissões das categorias que não puderam ser desagregadas, no Setor IPPU.

Quadro 2.6. Categorias com valores atribuídos em outras categorias (IE) no Setor IPPU

Categorias realocadas	Destino da realocação
2.C.5. Produção de Chumbo	2.C.7. Outros (não-ferrosos, fora alumínio e magnésio)
2.D.2. Uso de Cera de Parafina	2.D.3. Outros
2.E.1. Circuito Integrado ou Semicondutor	2.E.5. Outros
2.E.2. Display de Tela Plana TFT	2.E.5. Outros

Para algumas categorias não foi possível calcular as emissões, dada, principalmente, a falta de informações. No Quadro 2.7 foram compiladas as subcategorias para as quais os GEE não foram estimados no setor IPPU.

Quadro 2.7. Categorias não estimadas (NE) no Inventário para o setor IPPU

Categorias não estimadas	Observações
2.E.3. Painéis Fotovoltaicos	Produção (desde 2012) considerada ainda muito incipiente
2.E.4. Fluido de transferência de calor	Produção considerada ainda muito incipiente até 2016
2.F.5. Solventes	Dados não puderam ser obtidos devido à grande quantidade de possíveis variações nessa área e outros usos para as mesmas substâncias
2.G.3. N ₂ O dos Usos de Produto	Dados não estão disponíveis no país



2.4.2 Indústria Mineral (2.A)

No subsetor Indústria Mineral (2.A) estão incluídas as emissões de CO₂ referentes aos processos de Produção de Cimento (2.A.1), Produção de Cal (2.A.2), Produção de Vidro (2.A.3) e Outras Utilizações de Carbonatos em Processos (2.A.4).

Em 2016, a Indústria Mineral (2.A) emitiu 29.373 Gg CO₂e, que correspondeu a 31% das emissões do setor em CO₂e (Figura 2.20). As principais emissões estiveram vinculadas à categoria Produção de Cimento (2.A.1), que emitiu 21.238 Gg CO₂e e contribuiu com 72% das emissões do subsetor. Em seguida, a Produção de Cal (2.A.2), com emissão de 6.071 Gg CO₂e, representou 21% das emissões. Em 2016, as emissões do subsetor Indústria Mineral (2.A) foram 3,6% maiores que as estimadas em 2010. No entanto, observou-se um aumento acentuado das emissões entre 2011 e 2013, revertendo-se a tendência de 2014 em diante.

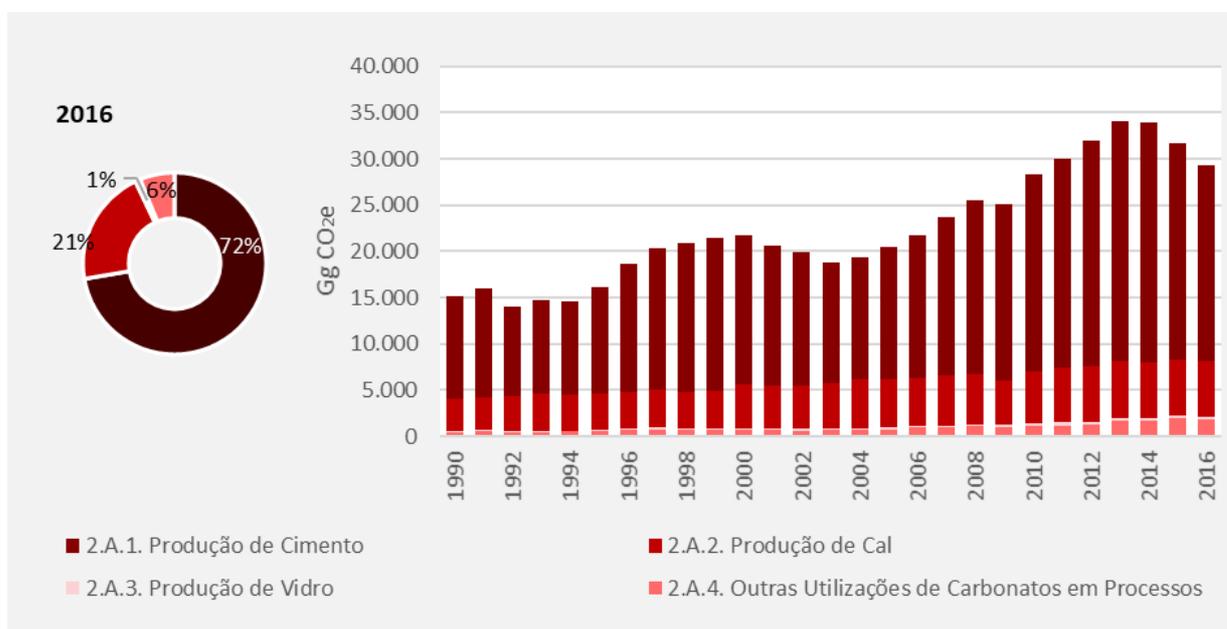


Figura 2.20. Emissões da Indústria Mineral (2.A), em CO₂e, por categoria, de 1990 a 2016

2.4.3 Indústria Química (2.B)

No subsetor Indústria Química (2.B), as emissões resultam de seus processos produtivos. As categorias estimadas no Inventário foram: Produção de Amônia (2.B.1); Produção de Ácido Nítrico (2.B.2); Produção de Ácido Adípico (2.B.3); Caprolactama, Glioxal e Produção de Ácido Glioxílico (2.B.4); Produção de Carbureto (2.B.5); Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8); Produção de Fluoroquímicos (2.B.9). A Produção de Dióxido de Titânio (2.B.6) não emite GEE, devido à rota tecnológica utilizada no país. Para a categoria Produção de Carbonato de Sódio (2.B.7), não houve atividade.

Em 2016, a Indústria Química (2.B) apresentou emissão de 8.422 Gg CO₂e, ou 9% das emissões do setor, com aumento de 5,1%, se comparado com 2010 (Figura 2.21). A categoria Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8) foi a mais representativa, e correspondeu a 91% do total do subsetor (2.B). Os produtos petroquímicos que tiveram suas emissões estimadas foram: Metanol, Eteno (ou Etileno), Dicloroetano e Cloreto de Vinila (MVC), Óxido de Eteno, Acrilonitrila e Coque de Petróleo Calcinado.

Na sequência, as emissões pela Produção de Amônia (2.B.1), Produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Produção de Ácido Adípico (2.B.3) foram as mais representativas, com 5%, 2% e 1%, respectivamente.



Entre 2010 e 2016, dentre as emissões do subsetor Indústria Química (2.B), as de CO₂ cresceram em 5,8%, as de CH₄ em 1,8% e as de NMVOC em 7,8%. Nesse período, as emissões de N₂O caíram 9,2%, as de CO, 49% e as de NO_x, 21%.

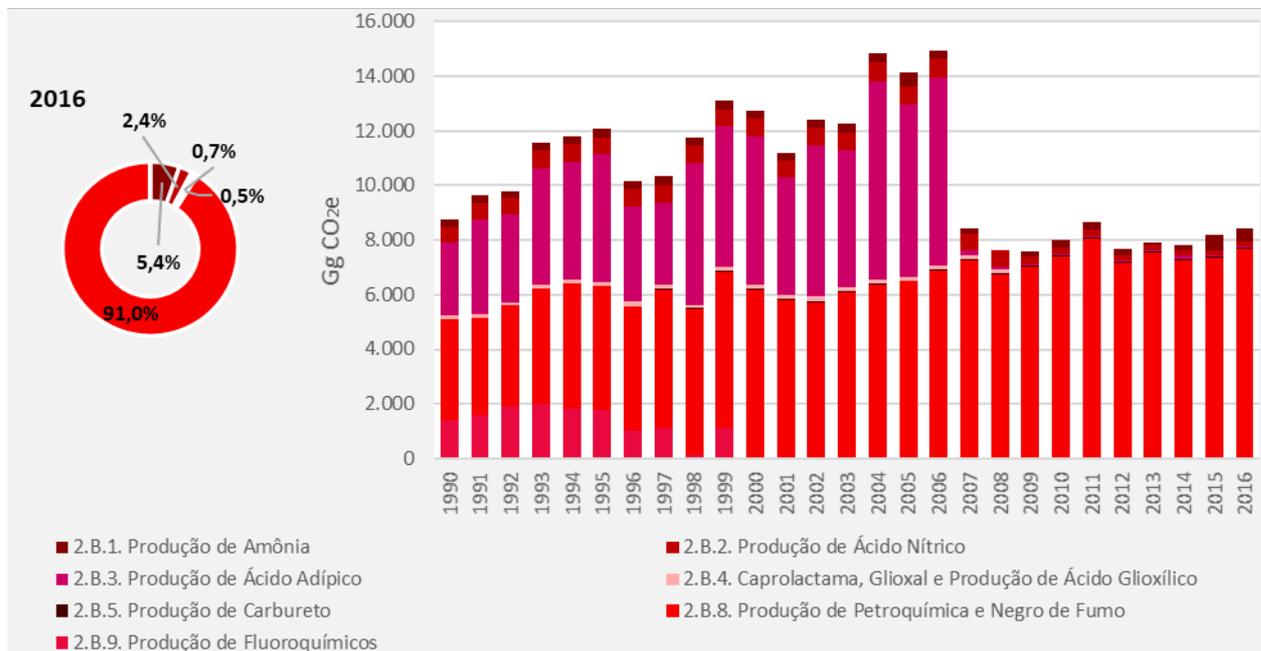


Figura 2.21. Emissões da Indústria Química (2.B), em CO₂e, por categoria, de 1990 a 2016

No que se refere a CO₂, observa-se que, em todo o período, a principal categoria emissora foi a Produção de Petroquímica e Negro de fumo (2.B.8) e que, em 2016, contribuiu com 94% das emissões desse gás no subsetor. Nesta categoria, destacaram-se as emissões referentes à produção de Eteno (81% da categoria).

No caso de CH₄, o total das emissões referiu-se à categoria Produção de Petroquímica e Negro de fumo (2.B.8), com destaque para produção de Eteno (92% da categoria). As emissões de N₂O advieram das categorias Produção de Ácido Nítrico (2.B.2) e Produção de Amônia (2.B.1), que representaram 77% e 23% em 2016, respectivamente.

Em relação a CO, as emissões estiveram relacionadas com a categoria Produção de Ácido Adípico (2.B.3). As emissões de NO_x foram oriundas da Produção de Ácido Nítrico (2.B.2), Produção de Ácido Adípico (2.B.3) e Produção de Petroquímica e Negro de fumo (2.B.8), com 77%, 19% e 4,6%, respectivamente, em 2016. Por fim, as emissões de NMVOC foram oriundas da categoria Outros Produtos Químicos (2.B.10) e da Produção de Petroquímica e Negro de Fumo (2.B.8), com contribuições de 81% e 19%, respectivamente, em 2016.

2.4.4 Indústria Metalúrgica (2.C)

As emissões do subsetor Indústria Metalúrgica (2.C) referem-se às categorias: Produção de Ferro e Aço (2.C.1); Produção de Ferroligas (2.C.2); Produção de Alumínio (2.C.3); Produção de Magnésio (2.C.4); e Outros Não-ferrosos, fora Alumínio e Magnésio (2.C.7), sendo que nesta última também foram incluídas as emissões da Produção de Chumbo (2.C.5). Não há emissão de GEE na categoria Produção de Zinco (2.C.6), pois, no Brasil, não se utiliza redutores nesse processo.

Em 2016, houve emissão de 48.778 Gg CO₂e no subsetor¹¹, que correspondeu a 52% das emissões do setor (Figura 2.22). De 2010 a 2016, as emissões da Indústria Metalúrgica (2.C) aumentaram 4,2%. A categoria mais representativa

¹¹ De acordo com a metodologia do IPCC 2006, as emissões de CO₂ provenientes do consumo de combustíveis de biomassa são informadas, porém não são contabilizadas no total de emissões do setor.



4CN – Capítulo 2

do subsetor foi a Produção de Ferro e Aço (2.C.1), responsável por 91% das emissões. As categorias Produção de Ferroligas (2.C.2), Produção de Alumínio (2.C.3) e Outros Não-Ferrosos, Fora Alumínio e Magnésio (2.C.7) corresponderam a 2%, 3% e 4%, respectivamente.

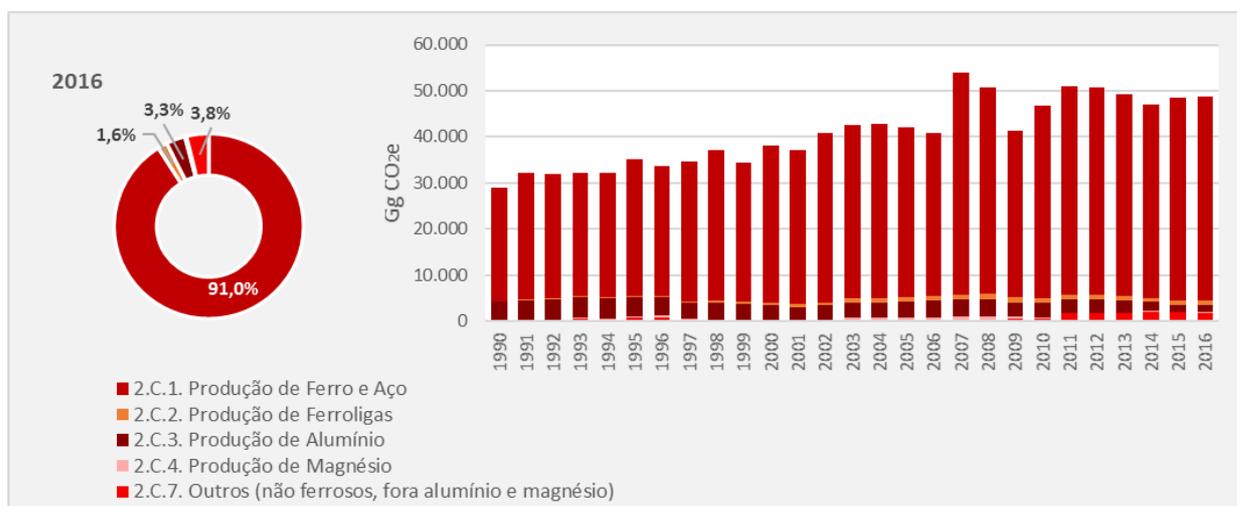


Figura 2.22. Emissões da Indústria Metalúrgica (2.C), em CO₂e, por categoria, de 1990 a 2016

No que se refere a CO₂, observa-se que a principal categoria emissora foi a Produção de Ferro e Aço (2.C.1) com contribuição de 91% em 2016. A maior parte das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de aço ocorreu durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, ou seja, na etapa de redução do minério de ferro. As categorias Produção de Ferroligas (2.C.2), Produção de Alumínio (2.C.3) e Outros Não-Ferrosos, Fora Alumínio e Magnésio (2.C.7) corresponderam a 2%, 3% e 4%, respectivamente, seja pela redução de matérias-primas, seja pelo consumo de anodos.

As emissões de CH₄ e N₂O foram provenientes da Produção de Ferro e Aço (2.C.1); enquanto as de CO e de NO_x estiveram relacionadas à Produção de Alumínio (2.C.3).

2.4.5 Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D)

As emissões do subsetor Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) estão relacionadas às categorias: Uso de Lubrificantes (2.D.1) e Outros (2.D.3). As emissões associadas ao Uso de Cera de Parafina (2.D.2) foram incluídas na categoria Outros (2.D.3).

Em 2016, o subsetor emitiu 763 Gg CO₂ e representou 1% do total de emissão do setor. De 2010 a 2016, as emissões de Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D) diminuíram 4,6%. A categoria Uso de Lubrificantes (2.D.1) representou 84% do total do subsetor. Nessa categoria, são estimadas as emissões decorrentes do uso de lubrificantes em máquinas e equipamentos, apenas quando queimados em motores, sendo o restante estocado de forma definitiva. As emissões da categoria Outros (2.D.3), que complementa o subsetor, estão relacionadas com o uso não energético do Alcatrão.

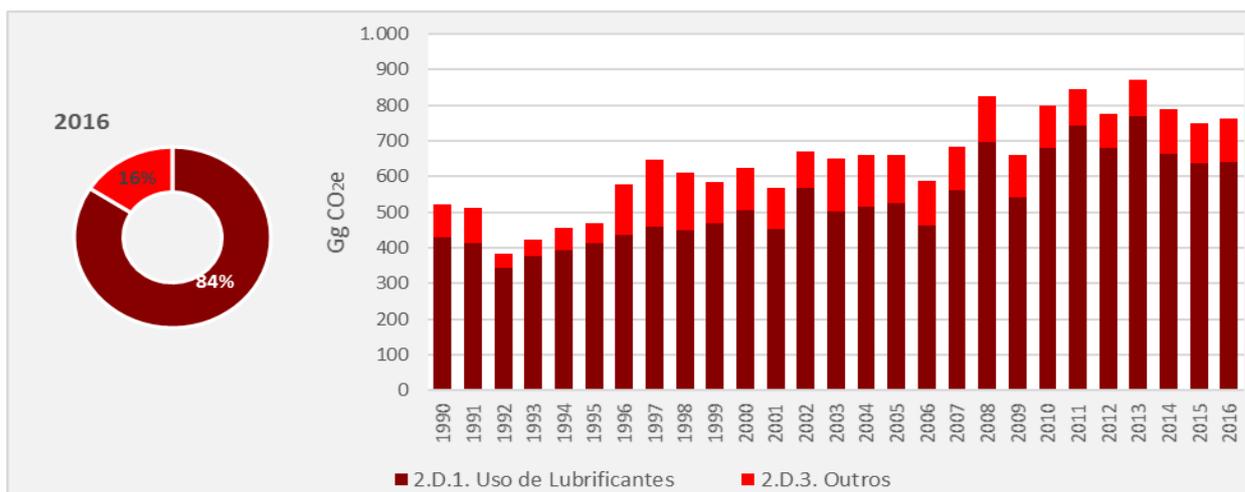


Figura 2.23. Emissões de Produtos Não Energéticos de Combustíveis e Solventes (2.D), em CO₂e, por categoria, de 1990 a 2016

2.4.6 Indústria Eletrônica (2.E)

O subsetor Indústria Eletrônica (2.E) inclui processos avançados de fabricação de eletrônicos, como circuitos integrados ou semicondutores, display de tela plana com transistor de película fina (TFT, no acrônimo em inglês), painéis fotovoltaicos, fluido de transferência de calor, dentre outros. Esses processos utilizam compostos fluorados e, para este Inventário, foram identificadas e estimadas as emissões de HFC-23 (CHF₃) e CF₄.

Devido à impossibilidade de desagregação dos dados, as emissões relacionadas às categorias Circuito Integrado ou Semicondutor (2.E.1) e Display de Tela Plana TFT (2.E.2) foram relatadas na categoria Outros (2.E.5). A fabricação de painéis fotovoltaicos no Brasil (emissões relatadas na categoria Painéis Fotovoltaicos — 2.E.3) foi iniciada em 2012 e ainda está em seu estágio inicial, não tendo sido possível estimar as emissões relacionadas a esse processo. No Brasil, não ocorrem emissões relacionadas à categoria Fluido de Transferência de Calor (2.E.4).

2.4.7 Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio (2.F)

Os hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs) substituem as substâncias destruidoras da camada de ozônio, essas controladas pelo Protocolo de Montreal. São diversas as áreas de aplicação dessas substâncias, como a de refrigeração e ar-condicionado, combate a incêndios, propulsores de aerossol e espumas. Algumas categorias em que esses usos são agrupados envolvem o armazenamento de substâncias e sua liberação gradual ao longo dos anos, devido a vazamentos.

Para este Inventário, as emissões foram estimadas para as categorias de Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1), Agentes de Espuma (2.F.2), Proteção Contra Incêndio (2.F.3) e Aerossóis (2.F.4). As emissões relacionadas a Solventes (2.F.5), embora possam existir, mesmo que em pequenas quantidades, não foram estimadas, já que os usos nessa categoria são muito específicos em certas empresas de montagens eletrônicas e de mecânica de precisão. Neste subsetor em particular, as emissões não podem ser obtidas diretamente, já que não existe obrigação de relato por parte das empresas, o que obriga ao uso de modelos de apoio e informações agrupadas de importação dessas substâncias.



4CN – Capítulo 2

O subsetor Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruídas da Camada de Ozônio (2.F) emitiu 5.728 Gg CO₂e em 2016, e contribuiu com 6% das emissões do setor. Em 2010, as emissões desse subsetor foram de 2.872 Gg CO₂e. Na Figura 2.24, observa-se que a categoria Refrigeração e Ar-Condicionado (2.F.1) representou quase a totalidade das emissões do subsetor, com uma contribuição de 98% em 2016, complementada por Aerossóis (2.F.4), Agentes de Espuma (2.F.2) e Proteção Contra Incêndio (2.F.3), com contribuições de 1,3%, 0,4% e 0,3% para as emissões do subsetor, respectivamente.

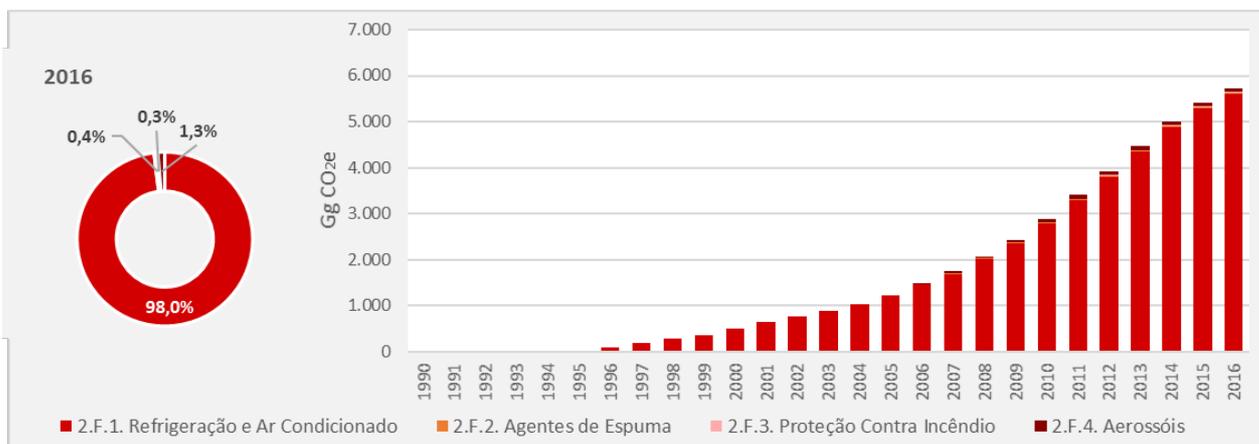


Figura 2.24. Emissões de Usos de Produtos como Substitutos para Substâncias Destruídas da Camada de Ozônio (2.F), em CO₂e, por categoria, de 1990 a 2016

Em 2016, o gás HFC-134a foi o mais representativo do subsetor, com 94% do total em CO₂e, em que as categorias Ar-Condicionado Veicular, Equipamentos de Refrigeração e *Chillers* (resfriadores) contribuíram com 85%, 10% e 2,6%, respectivamente. O segundo gás mais emitido em 2016 foi o HFC-125, com 4,1%, devido principalmente à categoria de Ar-Condicionado, que corresponderam a 79% das emissões desse subsetor.

2.4.8 Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G)

O subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) inclui emissões do uso de SF₆, PFC e N₂O em aplicações baseadas nas diferentes propriedades físicas dessas substâncias, como a alta constante dielétrica do SF₆, a estabilidade dos PFCs e os efeitos anestésicos de N₂O. Para este Inventário, foram estimadas apenas as emissões de SF₆ pelo seu uso em equipamentos de energia elétrica, referentes à categoria Equipamentos Elétricos (2.G.1). Não ocorrem emissões nacionais de SF₆ e PFCs em Uso de Outros Produtos (2.G.2) e a categoria N₂O dos Usos de Produtos (2.G.3) não foi estimada, devido à necessidade de uma avaliação mais aprofundada dos dados.

Em 2016, as emissões do subsetor Fabricação e Uso de Outros Produtos (2.G) foram estimadas em 295 Gg CO₂e, e representaram 0,3% das emissões totais do setor. Com relação a 2010, essas emissões aumentaram 22%. Todas as emissões são relacionadas à categoria Equipamentos Elétricos (2.G.1).

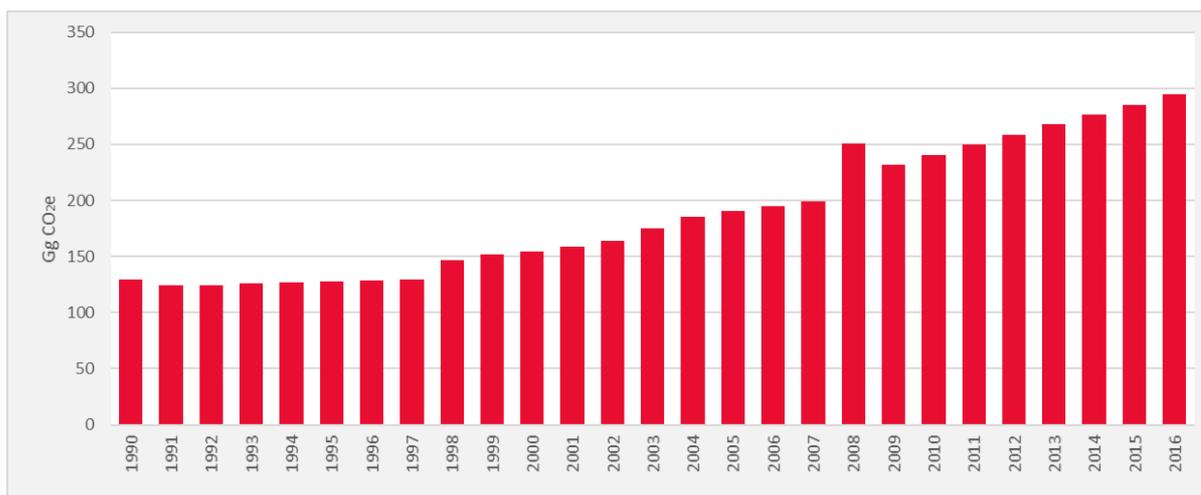


Figura 2.25. Emissões de SF₆ na categoria Equipamentos Elétricos (2.G.1), de 1990 a 2016

2.4.9 Outros (2.H)

Nesse subsetor são relatadas as emissões relacionadas às categorias Indústria de Papel e Celulose (2.H.1) e Indústria de Alimentos e Bebidas (2.H.2), que emitem apenas gases de efeito estufa indireto. Na categoria Indústria de Papel e Celulose (2.H.1), as emissões relacionadas ao processo nacional de produção de papel e pasta de celulose foram de CO, NO_x e NMVOC, que representaram 9% das emissões do subsetor em 2016. No processamento industrial de alimentos e na produção de bebidas (2.H.2) ocorreram 91% das emissões de NMVOC do subsetor em 2016, com uma contribuição de 53% pela produção de açúcar e de 29% pela produção de destilados.



2.5 SETOR AGROPECUÁRIA (3)

O setor Agropecuária compreende as emissões das atividades pecuárias e agrícolas, e contempla os gases CH₄, N₂O e CO₂, além dos gases de efeito estufa indireto (CO, NO_x e NMVOC)¹². Conforme a metodologia do IPCC 2006, os subsetores contemplados são: Fermentação Entérica (3.A), Manejo de Dejetos (3.B), Cultivo de Arroz (3.C), Solos Manejados (3.D), Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), Calagem (3.G) e Aplicação de Ureia (3.H).

As emissões do setor totalizaram 487.005 Gg CO₂e em 2016, um aumento de 6,3%, se comparado com 2010. O subsetor Fermentação Entérica (3.A) apresentou emissão de 282.713 Gg CO₂e em 2016, enquanto as emissões de Solos Manejados (3.D) foram de 153.065 Gg CO₂e. Os outros subsetores contribuíram com o restante das emissões do setor.

Consulte o Apêndice para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)

Como mostra a Figura 2.26, as emissões de CH₄ são as mais representativas para o setor e são oriundas, mormente, do subsetor Fermentação Entérica (3.A). Em seguida, aparecem as emissões de N₂O, que tiveram como sua principal fonte de emissão o subsetor Solos Manejados (3.D). O CO₂ representou uma nova contabilização de emissões para o setor Agropecuária, que significou 4% das emissões totais do setor, relacionada principalmente à aplicação de calcário no solo (Calagem — 3.G).

A pecuária é uma atividade econômica de relevância nacional, e os principais parâmetros utilizados para estimativa de suas emissões referem-se à população, ao tipo de confinamento, à digestibilidade, ao peso e à produtividade animal. As emissões da agricultura estão relacionadas, principalmente, ao processo de produção agrícola e utilização de adubos nitrogenados, enquanto as emissões e remoções resultantes dos processos de conversão do uso e cobertura da terra e manejo do solo são contabilizadas no setor LULUCF (4).

Destaca-se sobretudo que, em decorrência dos esforços empreendidos para a adoção de práticas e sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis, por meio da implementação do Plano ABC, o setor tem contribuído com significativa redução das emissões no país. Contudo, devido ao fato de a metodologia para inventários nacionais não contemplar de forma sistêmica, o balanço dos fluxos e estoques dentro dos sistemas de produção agropecuários, os resultados alcançados com a transformação de 50 milhões de hectares em sistemas sustentáveis de produção (vide Box 2.2), ao longo de 10 anos dessa política pública, não aparecem de forma explícita na série histórica.

¹² Os gases de efeito estufa indireto são contabilizados apenas no subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

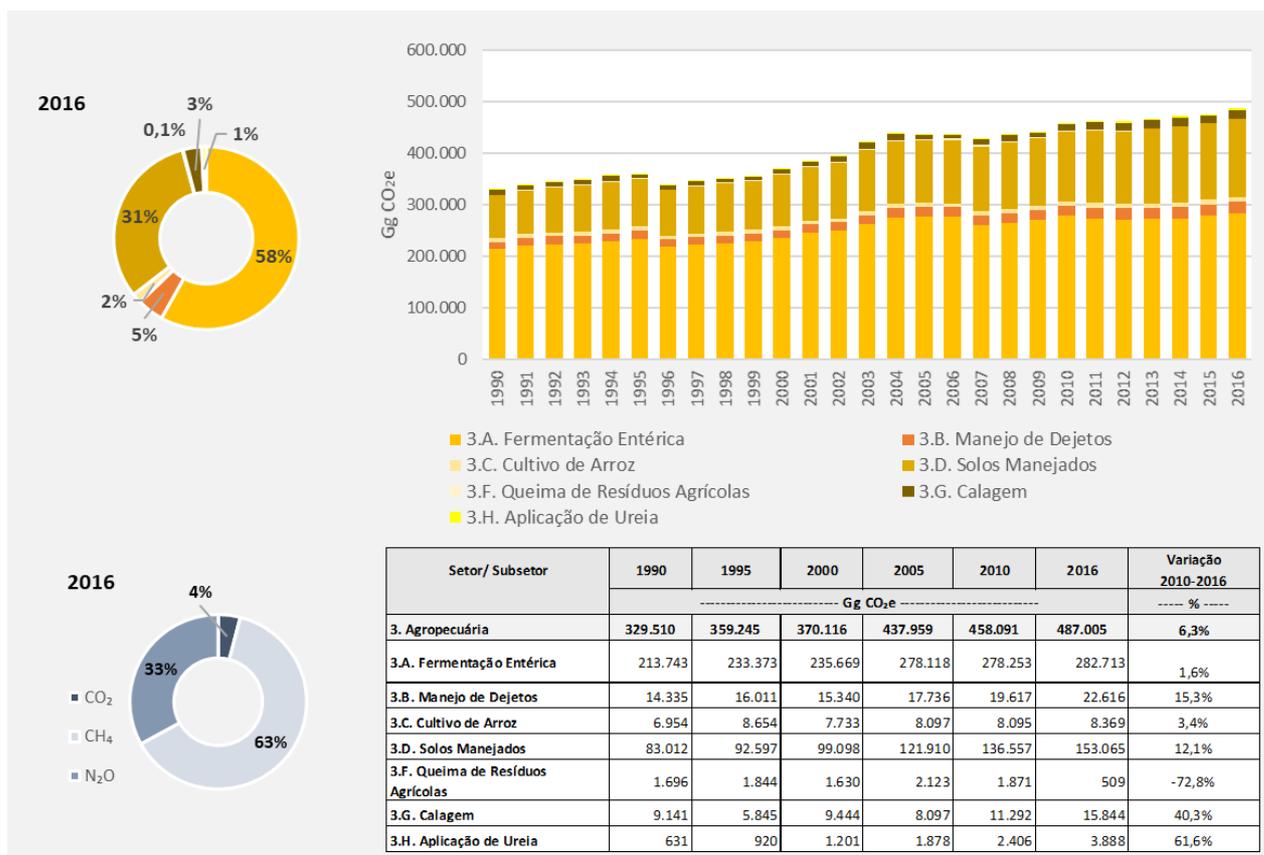


Figura 2.26. Emissões do setor Agropecuária, em CO₂e, por subsetor de 1990 a 2016

Box 2.2. A eficiência produtiva da bovinocultura de corte e de leite do Brasil

A elaboração do Quarto Inventário de Emissões de GEE do setor Agropecuária conta com o empenho da comunidade científica nacional em relação à escolha de parâmetros e definição de fatores de emissão e remoção mais acurados à realidade do país. Isso vem permitindo ao Brasil refletir, de forma consistente, os esforços do setor agropecuário em produzir de forma mais eficiente e sustentável, reduzindo as emissões do setor.

Nos últimos anos, um conjunto de políticas públicas voltadas ao setor pecuário, somado às pesquisas científicas e desenvolvimento tecnológico, além do empreendedorismo dos produtores rurais, resultaram no aumento da produtividade nacional. Isso configura uma perspectiva promissora para esse setor de grande relevância econômica para o país. Dentre as ações de destaque pode-se citar os avanços na adoção de tecnologias e sistemas de produção tais como, sistemas integrados como lavoura-pecuária-floresta e suas combinações, sistema plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, tratamento de dejetos animais, recuperação de pastagens degradadas, dentre outros que contribuem para a melhoria dos processos produtivos da agropecuária tropical.

Rebanho e produtividade

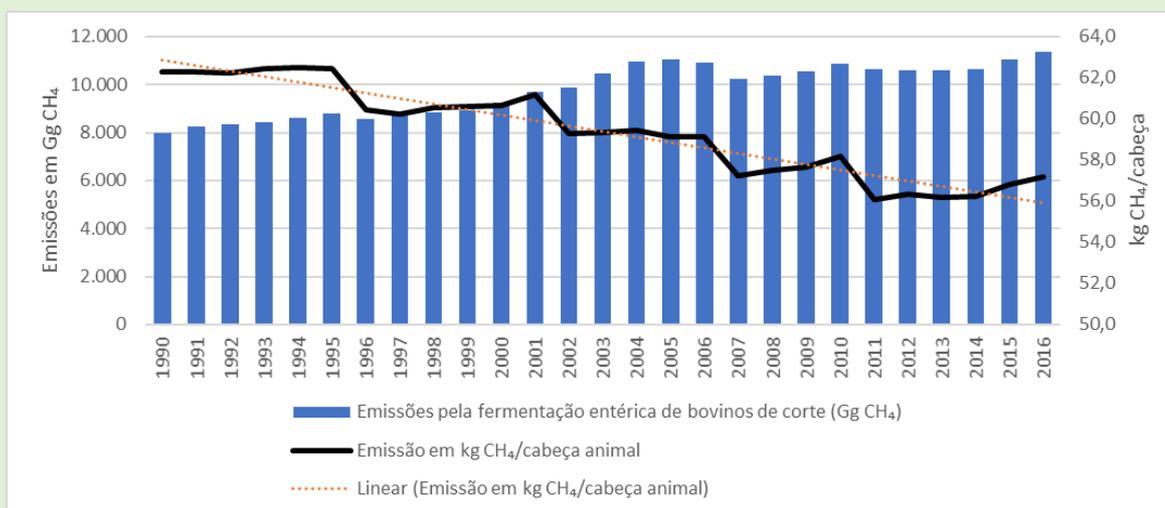
Detentor do maior rebanho comercial bovino do mundo, com uma produção anual média próxima de 9,1 milhões de toneladas de carne em 2016 (ABIEC, 2019), o Brasil é o segundo maior produtor mundial e o líder em exportações de carne – aspecto de importante contribuição para a segurança alimentar mundial. Esse desempenho é oriundo de um



crescimento de 48% no número de cabeças animais (de 1990 a 2016), representado por um rebanho de 218 milhões de cabeças em 2016 (IBGE, 2018), cerca de 80% com finalidade de corte.

O setor Agropecuária contribuiu, em 2016, com 33% das emissões brasileiras (em CO₂ equivalente). A fonte de maior relevância para as emissões deste setor é a fermentação entérica. Este subsetor representou, em 2016, 19% das emissões totais de GEE do país e 76% das emissões de CH₄, do Quarto Inventário Nacional (como observado na Figura 2.26).

A análise da emissão de CH₄ proveniente da fermentação entérica por cabeça de gado de corte mostra redução de 8,2% entre 1990 e 2016 (Figura I), apesar da série histórica do setor apresentar aumento nas emissões decorrentes do aumento do rebanho. A redução da emissão de CH₄ proveniente da fermentação entérica por cabeça de bovinos de corte está diretamente relacionada ao aumento de 7,6% da taxa de digestibilidade¹³ das forragens consumidas pelo rebanho (de 55,6% para 59,8%)¹⁴, que exerce influência direta na intensidade das emissões expelidas por cada animal. Estudos realizados no Brasil, demonstram que, nos últimos anos, a melhoria da digestibilidade da dieta de ruminantes, favoreceu diretamente a eficiência produtiva do rebanho melhorando a ingestão alimentar e o ganho de peso, e como cobenefício diluiu as emissões de GEE por produto. Dessa forma, a digestibilidade pode ser considerada um indicador do avanço da eficiência produtiva do rebanho brasileiro relacionado diretamente à redução das emissões por cabeça conforme apresentado nas Figuras I e IV.



Fonte: Baseado em IBGE (2018).

Figura I. Emissões de CH₄ da fermentação entérica do rebanho de corte, e emissão por cabeça animal (expressa em kg/cabeça/ano), para o período de 1990 a 2016, no Brasil.

O melhoramento genético vegetal também pode ser citado como uma excelente estratégia, que somado a melhoria da digestibilidade, resulta na melhoria da produtividade do rebanho. Cultivares mais resistentes às pragas e doenças, com maiores produtividades, palatabilidade, melhores qualidades nutricionais e selecionadas para os diferentes biomas brasileiros fazem parte deste pacote tecnológico. O uso de tecnologias complementares também foi importante para uma adequada resposta produtiva, tais como: calagem, adubação, cercas elétricas ou convencionais,

¹³ A taxa digestibilidade é comumente expressa como o percentual (%) da quantidade de energia bruta (GE) no alimento não excretado nas fezes dos animais. Variações na digestibilidade da dieta animal resultam em grandes variações na estimativa da alimentação necessária para atender às necessidades dos animais (IPCC, 2006).

¹⁴ Média da digestibilidade do rebanho de corte nacional.



bebedouros, controle de plantas invasoras, manejo da pastagem, ajustes de cargas animais, provisão de forragem para o período seco ou frio, irrigação, etc.

As políticas públicas desenvolvidas desde 1990, somadas ao desenvolvimento tecnológico e científico, além do empreendedorismo dos produtores rurais, imprimiram um quadro diferente ao habitual, caso não houvesse as mudanças (*business as usual*). Estes esforços resultaram em uma redução de mais de 8% de metano entérico por cabeça de bovino de corte de 1990 a 2016, conforme ilustrado na Figura II.

A Figura II representa a diferença de emissões de kg CH₄/cabeça/ano entre a situação *ex-post* A, sem a adoção de políticas públicas e tecnologias efetivas para o setor pecuário, e a *ex-post* B, com a implementação das mudanças, evidenciando um aumento da produtividade animal e uma alteração positiva no cenário de emissões no Brasil, em relação à situação *ex-ante*.

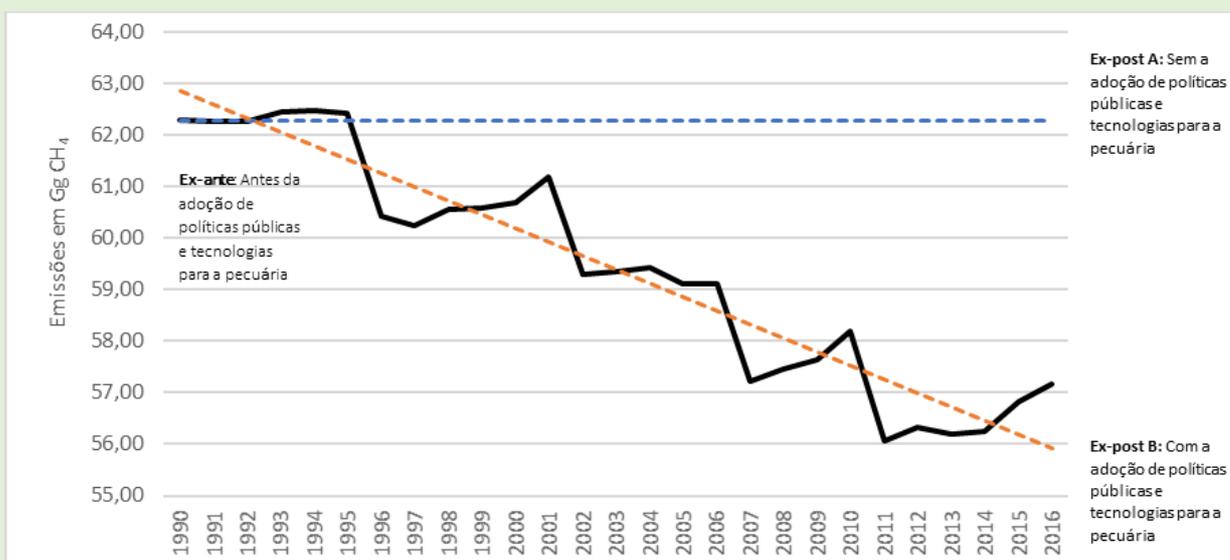
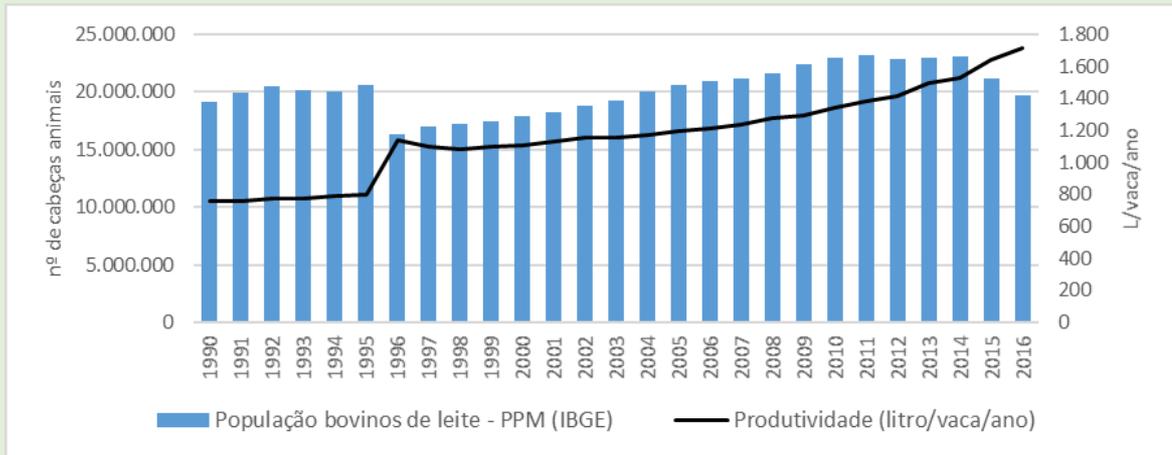


Figura II. Emissão por cabeça animal de bovino de corte (expressa em kg/cabeça/ano), para o período de 1990 a 2016, no Brasil e a diferença de emissões entre a situação *ex-post* A, sem a adoção e a *ex-post* B com a adoção, em relação à situação *ex-ante*, antes da adoção de políticas públicas e tecnologias para a pecuária.

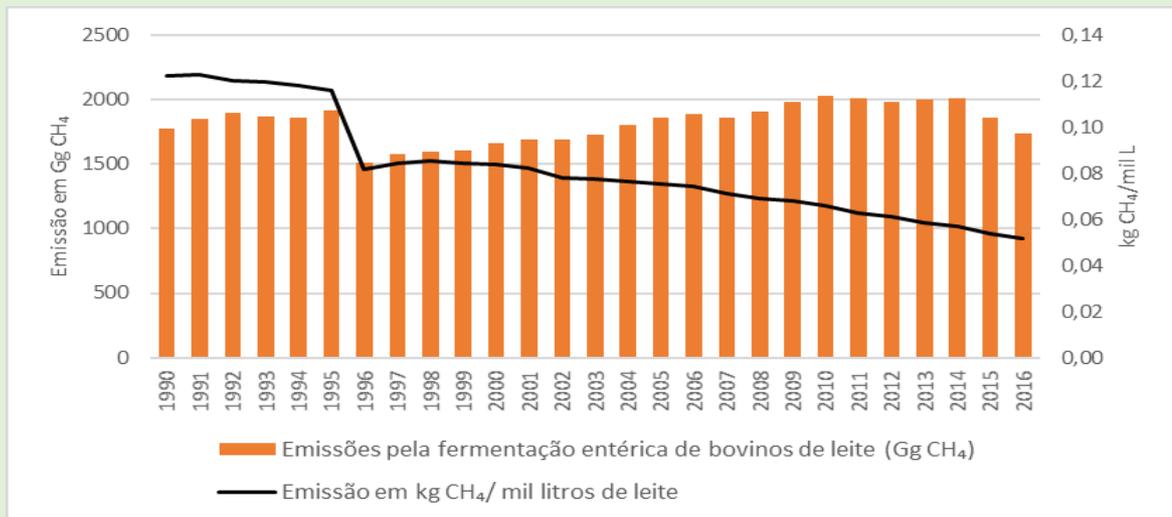
Na série histórica analisada, a bovinocultura leiteira também apresenta melhoria em sua produtividade. De 1990 a 2016, enquanto o número de vacas leiteiras aumentou 2,6% (Figura III), a produção de leite aumentou 133%, ou seja, a produtividade leiteira (litros produzidos por vaca por ano) aumentou 127% (IBGE, 2018).



Fonte: Baseado em IBGE (2018).

Figura III. População animal¹⁵ de bovinos de leite e produtividade leiteira (expressa em litro/cabeça/ano), para o período de 1990 a 2016, no Brasil.

Em termos de emissão de CH₄, os bovinos leiteiros apresentaram redução de 2% de 1990 a 2016. Ao se considerar a emissão de CH₄ por litro de leite produzido, observa-se um decréscimo de 58% no mesmo período (Figura IV). Isso se deve ao aumento da participação de vacas de alta produção no rebanho leiteiro nacional (de 1% para 30%), e ao aumento de 11,3% da digestibilidade das forragens (de 61,4% para 68,4%), no mesmo período, situação semelhante à ocorrida na pecuária de corte.



Fonte: Baseado em IBGE (2018).

Figura IV. Emissões de CH₄ da fermentação entérica do rebanho de leite, e emissão por litro de leite produzido (expressa em kg/mil litros leite/ano), para os anos de 1990 a 2016, no Brasil.

¹⁵ Em 1996 houve correção da população animal, devido a implementação do Censo Agropecuário de 1996 (IBGE, 1996)



Segundo Herrero et al. (2013), a intensidade das emissões de GEE difere entre regiões geográficas e sistemas de produção e é influenciada, principalmente, pela eficiência da conversão alimentar (quantidade de alimento consumido por unidade de produto), que melhora com a qualidade da dieta animal, em termos de digestibilidade e de teor de proteína. Desta maneira, a melhoria da quantidade e qualidade do alimento resultará na melhoria da produção e da eficiência alimentar animal, reduzindo assim as emissões de GEE (particularmente CH₄) por unidade de produto animal seja carne ou leite (HRISTOV et al., 2013). Mesmo com avanços tecnológicos, é esperado que as emissões brutas totais de uma região ou de um país aumentem caso o número de cabeças aumente mais do que as emissões evitadas de um rebanho estabilizado (LATAWIEC et al. 2014).

O Brasil tem se comprometido e avançado no aumento da produtividade e da eficiência animal, através da implementação de políticas públicas que promovam a melhoria da genética do rebanho e das plantas forrageiras, digestibilidade, conforto animal, abate precoce, estratégias eficientes de reprodução, melhor eficiência das pastagens, o uso de tecnologias para o tratamento de dejetos animais, entre outras ações. Essas iniciativas têm auxiliado no fomento à pecuária sustentável e de baixa emissão de carbono no país, mostrando tendência promissora para os próximos anos.

Além disso, o país tem avançado no aperfeiçoamento e na transparência das estimativas de emissões em cada edição do Inventário Nacional, com a busca de novas pesquisas científicas, uso de parâmetros e fatores de emissão e remoção que reflitam as condições nacionais. Esse esforço resulta em maior acurácia das emissões nacionais e estimula a continuidade dos avanços científicos, contribuindo com o desenvolvimento da ciência nacional e mundial.

2.5.1 Aspectos metodológicos do setor

As estimativas de emissões do setor Agropecuária basearam-se na metodologia indicada no IPCC 2006¹⁶. O cálculo das emissões considerou dados nacionais, como população animal, consumo de fertilizantes sintéticos e orgânicos, produção agrícola, tecnologias utilizadas para o manejo de dejetos, entre outros. Os dados de atividade, em sua maioria, foram obtidos de fontes oficiais. Os parâmetros, os fatores de emissão e os demais dados de atividade foram obtidos ou calculados a partir de literatura nacional e internacional, como mostra o Quadro 2.8.

Adotou-se a metodologia *Tier 1* para as emissões por Fermentação Entérica (3.A) das categorias de suínos, búfalos, ovinos, caprinos, equinos, muares e asininos, com a utilização dos fatores de emissão *default* do IPCC 2006. Para os bovinos, categoria animal mais representativa do setor, utilizou-se o *Tier 2*, que permitiu uma abordagem mais detalhada em relação às outras categorias animais, além de considerar fatores e parâmetros específicos para cada estado ou região do país. Para essa categoria animal, foi realizada uma desagregação entre bovinos de corte (por tipo de confinamento, idade e sexo) e bovinos de leite (por alta e baixa produção).

Para as emissões pelo Manejo de Dejetos (3.B) adotou-se a mesma desagregação animal de fermentação entérica, com maior detalhamento dos suínos e inclusão da categoria aves. Foi utilizada a metodologia *Tier 2* para essas duas últimas categorias, com desagregação animal por finalidade produtiva. Para a categoria animal suína, desagregou-se em suínos industriais e de subsistência, utilizados para finalidade de reprodução, aleitamento e terminação. Já para a categoria aves, houve desagregação entre galinhas e poedeiras; galos, pintos e frangos, e codornas. Para as emissões indiretas desse subsetor (categoria acrescentada nesta edição do Inventário, devido à implementação do IPCC 2006), utilizou-se o *Tier 1*.

¹⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006).



4CN – Capítulo 2

As emissões pelo Cultivo de Arroz (3.C) foram estimadas a partir das metodologias *Tier 1* e *Tier 2*, em função do detalhamento dos dados de atividade e/ou da disponibilidade de fatores de emissão dos locais validados. Dessa maneira, adotou-se o *Tier 2* para as estimativas de emissões dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, por representarem a maior parcela de produção de arroz do país e possuírem fatores de emissão locais. O *Tier 1* foi utilizado para as demais Unidades Federativas.

Para as emissões de Solos Manejados (3.D) utilizaram-se as metodologias *Tier 1* e *Tier 2*. No que se refere a fertilizantes orgânicos e deposição de dejetos diretamente no solo, foi utilizada a mesma desagregação animal adotada para as emissões de Manejo de Dejetos (3.B). Para este Inventário, devido à implementação do IPCC 2006, foram incluídas as emissões da torta de filtro da indústria sucroalcooleira na categoria Adubos Orgânicos (3.D.1.b), bem como o uso de fertilizantes sintéticos no cultivo de arroz. Além disso, as emissões de N₂O pelas raízes das culturas e as emissões oriundas do nitrogênio (N) da biomassa de pastagem, incorporada ao solo por ocasião da sua renovação, passaram a ser contabilizadas na categoria Resíduos Agrícolas (3.D.1.d). Outra categoria incluída foi a Mineralização de N associada a perda de carbono (C) do solo (3.D.1.e).

As emissões do subsetor Queima Prescrita de Savana (3.E) não foram estimadas (NE), pois a diferenciação da queima de savana por causas antrópicas ou naturais, bem como o acompanhamento da dinâmica dessas queimadas ao longo dos anos no território nacional, não é uma atividade simples e demanda desenvolvimento de metodologia mais complexa, que assegure a adequada associação das queimadas às respectivas causas.

A abordagem *Tier 2* foi adotada para as estimativas de Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), em que os fatores de emissão, a relação palhizo/colmo e o fator de combustão foram específicos para a cultura da cana-de-açúcar. A quantidade de biomassa disponível para combustão e o percentual da produção submetido à queima (quando não utilizada a colheita mecanizada) foram específicos para cada Unidade Federativa e ano.

As emissões por Calagem (3.G) e Aplicação de Ureia (3.H) utilizaram a metodologia *Tier 1*, devido à baixa representatividade nas emissões do setor.



Quadro 2.8. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor Agropecuária

Subsetor	Categoria	Subcategorias	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
3.A. Fermentação Entérica	3.A.1. Bovinos	3.A.1.a Bovinos de Corte	NA	T2	NA	NA	NA	NA	Dados de população animal da Produção da Pecuária Municipal — PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2016 (IBGE, 2018a); Censo Agropecuário de 1996 e 2006 (IBGE, 1996; 2006) e Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013).	· Volume 4, Capítulo 10 (IPCC, 2006); · O cálculo do fator de emissão de cada categoria de bovino baseou-se em referências bibliográficas nacionais e internacionais, para cada Unidade Federativa e ano dos seguintes parâmetros: peso, digestibilidade, taxa de prenhez, teor de gordura no leite e produção de leite.
		3.A.2.b Bovinos de Leite	NA	T2	NA	NA	NA	NA		
	3.A.2. Ovinos		NA	T1	NA	NA	NA	NA	Dados de população animal da Produção da Pecuária Municipal — PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2016 (IBGE, 2018a).	FE <i>default</i> IPCC (2006). Volume 4, Capítulo 10 (IPCC, 2006).
	3.A.3. Suínos		NA	T1	NA	NA	NA	NA		
	3.A.4. Outros Animais	3.A.4.a. Bubalinos	NA	T1	NA	NA	NA	NA		
		3.A.4.b. Caprinos	NA	T1	NA	NA	NA	NA		
		3.A.4.c. Equinos	NA	T1	NA	NA	NA	NA		
		3.A.4.d. Muare	NA	T1	NA	NA	NA	NA		
		3.A.4.e. Asininos	NA	T1	NA	NA	NA	NA		
	3.B. Manejo de Dejetos	3.B.1. Bovinos	3.B.1.a. Bovinos de Corte	NA	T2	T2	NA	NA		



		3.B.1.b. Bovinos de Leite	NA	T2	T2	NA	NA	NA	<p>PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2016 (IBGE, 2018a), Censo Agropecuário de 1996 e 2006 (IBGE, 2006) e Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013). Dados de SESI (2019) e ABPA (2019) também foram utilizados para as categorias de suínos.</p> <p>· O cálculo do fator de emissão, para cada categoria de bovinos, suínos e aves baseou-se em referências bibliográficas nacionais e internacionais, para cada Unidade Federativa e ano dos seguintes parâmetros: peso, digestibilidade, taxa de excreção, tipo de tratamento de dejetos para cada categoria animal, etc.</p> <p>Outros animais: FE <i>default</i> IPCC (2006). Volume 4, Capítulo 10 (IPCC, 2006).</p>
	3.B.2. Ovinos		NA	T1	NO	NA	NA	NA	
3.B.3. Suínos		3.B.3.a. Suínos, Reprodutores	NA	T2	T2	NA	NA	NA	
		3.B.3.b. Suínos, Aleitamento/Creche	NA	T2	T2	NA	NA	NA	
		3.B.3.c. Suínos, Terminação	NA	T2	T2	NA	NA	NA	
3.B.4. Outros animais		3.B.4.a. Bubalinos	NA	T1	NO	NA	NA	NA	
		3.B.4.b. Caprinos	NA	T1	NO	NA	NA	NA	
		3.B.4.c. Equinos	NA	T1	NO	NA	NA	NA	
		3.B.4.d. Muas	NA	T1	NO	NA	NA	NA	
		3.B.4.e. Asininos	NA	T1	NO	NA	NA	NA	
		3.B.4.f. Aves	NA	T1	T1	NA	NA	NA	
3.B.5. Emissões Indiretas de N ₂ O		3.A.5.a. Bovinos	NA	NA	T1	NA	NA	NA	
		3.A.5.b. Outros	NA	NA	T1	NA	NA	NA	



4CN – Capítulo 2

3.C. Cultivo de Arroz	3.C.1. Terras Baixas / Irrigado	3.C.1.a. Irrigado por Inundação Contínua	NA	T1, T2	NA	NA	NA	NA	<p>· Dados de área cultivada de arroz, por Unidade Federativa e ano (estratificada por regime hídrico): Embrapa Arroz e Feijão (2018) e DCI/IRGA (IRGA, 2018);</p> <p>· Período de cultivo, por Unidade Federativa e ano (estratificado por sistema de semeadura): Embrapa (2018);</p> <p>Obs: apenas para o estado de Santa Catarina foram utilizados os seguintes dados regionais: Área cultivada (estratificada por regime hídrico) de Embrapa Arroz e Feijão (2018) e Epagri (2019). Período de cultivo (Estratificado por ciclo de cultivar) de Epagri (2019).</p>	Fatores e parâmetros default IPCC: Volume 4, Capítulo 5 (IPCC, 2006); Embrapa Arroz e Feijão (2018); YAN et al. (2005); Epagri (2019).
		3.C.1.b. Irrigado por Inundação Intermitente	NA	T1, T2	NA	NA	NA	NA		
	3.C.2. Terras Altas / Sequeiro	NA	NO	NA	NA	NA	NA			
3.D. Solos Manejados	3.D.1. Emissões Diretas	3.D.1.a. Fertilizantes Sintéticos	NA	NA	T2	NA	NA	NA	<p>Quantidade de Nitrogênio (N) na forma de fertilizante entregue ao consumidor final no Brasil, por Unidade Federativa e ano, de 1990 a 2016 (ANDA, 2018).</p> <p>Obs: Para a estimativa do N na forma de Fertilizante sintético aplicado em áreas de arroz irrigado considerou-se que somente a ureia é aplicada em arroz irrigado e que apenas a região Sul do país possui áreas com produção e produtividade significativas, para se considerar que houve uma aplicação relevante de fertilizante sintético (ANDA, 2018; Embrapa Arroz e Feijão, 2018, IRGA, 2018 e IBGE, 2019).</p>	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).



		3.D.1.b. Adubos Orgânicos	NA	NA	T1, T2	NA	NA	NA	<p>· Dados de produção de etanol e açúcar dos subprodutos vinhaça e torta de filtro, produzidos no país por Unidade Federativa e ano, foram obtidos da União da Indústria Canavieira (UNICA, 2019).</p> <p>· Dados de população animal da Produção da Pecuária Municipal — PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2016 (IBGE, 2018a) e Censo Agropecuário de 2000 e 2006 (IBGE, 2006); Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013); SESI (2019) e ABPA (2019).</p>	<p>Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006); Paredes et al. (2014); Parâmetros para estimar a quantidade de N na vinhaça e na torta de filtro: Elia Neto (2016); Gurgel (2012); Bernardinho et al. (2018); Bonassa et al. (2015) e EMBRAPA (2019); Fatores de emissão direta de N₂O de vinhaça e torta de filtro aplicados ao solo plantado com cana-de-açúcar: Oliveira et al. (2013); Siqueira Neto et al. (2016); Sousa Neto (2012).</p> <p>A definição do peso, fator de excreção e destinação do dejetos, para cada categoria animal, foram baseadas em diversas referências bibliográficas nacionais, para cada Unidade Federativa e ano.</p>
		3.D.1.c. Deposição de Dejetos Diretamente no Solo	NA	NA	T1, T2	NA	NA	NA	<p>Dados de população animal da Produção da Pecuária Municipal — PPM, por Unidade da Federação de 1990 a 2016 (IBGE, 2018a) e Censo Agropecuário de 2000 e 2006 (IBGE, 2006); Anualpec (FNP, 1997; 2001; 2005; 2013); SESI (2019) e ABPA (2019).</p>	<p>Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006). Bastos (2018).</p> <p>A definição do peso, fator de excreção e destinação do dejetos, para cada categoria animal, foram baseadas em diversas referências bibliográficas nacionais, para cada Unidade Federativa e ano.</p>
		3.D.1.d. Resíduos Agrícolas	NA	NA	T1, T2	NA	NA	NA	<p>· Dados de produtividade e área colhida das principais culturas agrícolas do Brasil, por Unidade Federativa e ano da</p>	<p>Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006). Parâmetros utilizados no cálculo da quantidade de N na renovação de pastagens: Carvalho et al. (1991); Oliveira</p>



									Produção Agrícola Municipal — PAM de 1990 a 2016 (IBGE, 2018b); · Dados de cultivo de arroz (por UF e ano): Embrapa (2018); DCI/IRGA (IRGA, 2018); · Dados de atividade de áreas de pastagens que permaneceram como pastagens e áreas de pastagens convertidas para outros usos, e as respectivas quantidades de biomassa consideradas (por UF e ano) do relatório de “Uso e Mudança do Uso da Terra e Florestas”.	et al. (2004); Piccolo et al. (2005); Santos et al. (2007); Fabrice et al. (2014).
		3.D.1.e. Mineralização de N Associada a Perda de C do Solo	NA	NA	T2	NA	NA	NA	O N mineralizado foi calculado a partir da multiplicação entre 1/R e a quantidade de carbono orgânico do solo perdida em função da conversão de uso (considerando a razão C:N associada a cada classe de cobertura da terra da classe de uso inicial), a partir dos mapas gerados pelo setor “Uso e Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)”, para o Quarto Inventário.	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).
		3.D.1.f. Manejo de Solos Orgânicos	NA	NA	T2	NA	NA	NA	Mapa de solos do Brasil, IBGE (2001). Além das áreas de solos orgânicos, também foram utilizados os mapas com as áreas sob diferentes usos do setor “Uso e Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)” do Quarto Inventário.	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).



		3.D.2.a. Deposição Atmosférica devido a Volatilização de N na forma de NH ₃ e NO _x	NA	NA	T1, T2	NA	NA	NA	Mesmos dados de atividades utilizados em Fertilizantes Sintéticos (3.D.1.a.), Adubos Orgânicos (3.D.1.b.); Deposição de Dejetos Diretamente no Solo (3.D.1.c.).	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).
	3.D.2. Emissões Indiretas	3.D.2.b. Lixiviação/ Escorrimento Superficial	NA	NA	T1, T2	NA	NA	NA	· Mesmos dados de atividades utilizados em Fertilizantes Sintéticos (3.D.1.a.), Adubos Orgânicos (3.D.1.b.); Deposição de Dejetos Diretamente no Solo (3.D.1.c.); Resíduos Agrícolas (3.D.1.d.) e Mineralização de N associada a perda de C do solo (3.D.1.e.). · Formulação de mapas contendo áreas em que o excedente de chuvas em relação a ETP ultrapassou a CAD dos solos, a partir de dados do INMET (2019) e Xavier (2019).	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).
3.E. Queima Prescrita de Savana			NE	NE	NE	NE	NE	NE		
3.F. Queima de Resíduos Agrícolas	3.F.1. Cana-de-açúcar		NA	T2	T2	T2	T2	NA	· Massa disponível para combustão (MB): Valor específico para cada município e ano de referência, calculado a partir de dados da Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE, 2018b); · Variedades cultivadas: Braga et al (2017); RIDESA (2018); · Relação palhiço/colmo - média de valores por Unidade Federativa: Hassuani et al. (2005); Franco et al. (2007); Tasso Junior et al. (2011);	· Fator de combustão (C _f): Volume 4, Capítulo 5 (IPCC, 2006); · Fator de emissão (G _{ef}): CH ₄ : Yokelson et al. (2008) / CO: Yokelson et al. (2008); Lopes e Carvalho (2009); e França et al., (2012) / NO _x : França et al. (2012) / N ₂ O: IPCC (2006); Andreae e Merlet (2001).



4CN – Capítulo 2

									Marques e Pinto (2013); e Ivo et al. (2015).	
	3.F.2. Algodão		NA	T1	T1	T1	T1	NA	Massa disponível para combustão (MB): Valor específico para cada Unidade Federativa e ano de referência (BRASIL, 2015).	Fator de combustão (C_f) e Fator de emissão (G_{ef}): Volume 4, Capítulo 5 (IPCC, 2006).
3.G. Calagem			T1	NA	NA	NA	NA	NA	Dados de produção e consumo de calcário, para cada Unidade Federativa de 1990 a 2016, da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário (ABRACAL, 2018).	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).
3.H. Aplicação de Ureia			T1	NA	NA	NA	NA	NA	Dados de consumo aparente de ureia, para cada Unidade Federativa de 1990 a 2016, da Associação Nacional para Difusão de Adubos — ANDA (ANDA, 2018).	Volume 4, Capítulo 11 (IPCC, 2006).
3.I. Outro			NO	NA	NA	NA	NA	NA		

Nota: níveis metodológicos IPCC, 2006 — T1: Tier 1; T2: Tier 2; T3: Tier 3.

Notações: NA — não aplicável, pois não há metodologia para estimar as emissões; NO — não ocorre a emissão do gás no país; NE — não estimada.



2.5.2 Fermentação Entérica (3.A)

Este subsetor inclui as emissões de CH₄ geradas pela fermentação entérica animal. As categorias animais que apresentam esse processo fisiológico e tiveram suas emissões estimadas foram: os animais ruminantes — bovinos, bubalinos, ovinos, caprinos; os não ruminantes — equinos, asininos, muares; e os monogástricos — suínos.

O principal fator que influencia as emissões nesse subsetor é a população animal, cuja variação modula as emissões de CH₄ (vide Box 2.2). Outros fatores que influenciam essas emissões, e variam conforme a categoria e idade animal, são a digestibilidade — que depende da qualidade do alimento consumido —, o peso animal e o fator de conversão de CH₄ — correspondente ao percentual da energia consumida pelo animal que é convertido para esse gás. Para os bovinos de leite, outros parâmetros que também exercem influência nas emissões são a produção de leite, o teor de gordura no leite e a taxa de prenhez (vide Box 2.2).

Em 2016, as emissões pela Fermentação Entérica (3.A) totalizaram 282.713 Gg CO₂e, enquanto em 2010 foram de 278.253 Gg CO₂e (Figura 2.27). A subcategoria Bovinos de Corte (3.A.1.a) representou 84,3% da parcela de emissão do subsetor, enquanto a subcategoria Bovinos de Leite (3.A.1.b) representou 12,9%, com uma diminuição de 14,4% em 2016, quando comparadas com 2010. Essa diminuição deve-se ao aumento da produtividade leiteira no país e, conseqüente, crescimento de vacas de alta produção no rebanho leiteiro nos últimos anos. As outras categorias animais tiveram uma representatividade menor, com 7.880 Gg CO₂e ou 2,8% do subsetor em 2016.

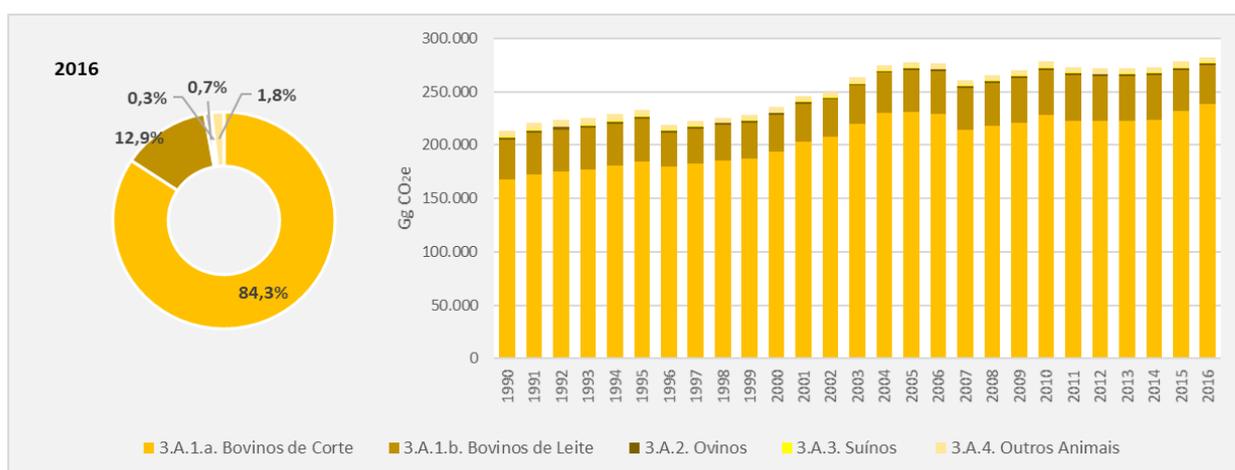


Figura 2.27. Emissões da Fermentação Entérica (3.A), em CO₂e, das principais categorias animais, de 1990 a 2016

2.5.3 Manejo de Dejetos (3.B)

O manejo de dejetos compreende as emissões de CH₄ e N₂O decorrentes das categorias animais utilizadas para fins produtivos no Brasil: bovinos (corte e leite), suínos, ovinos, caprinos, asininos, muares, equinos, bubalinos e aves.

A emissão de CH₄ ocorre durante a decomposição do dejetos sob condições anaeróbicas (na ausência de oxigênio), durante seu tratamento ou disposição, e é influenciada pela quantidade de dejetos gerado e tipo de sistema de tratamento adotado. Calcula-se que entre 2010 e 2016 foram tratados no Brasil cerca de 9,3 milhões de m³ de dejetos animais para produção de biogás, resultando em uma redução das emissões de CH₄ devido ao manejo de dejetos. Já a emissão de N₂O ocorre de forma direta, por meio da nitrificação e desnitrificação do Nitrogênio (N) contido nos dejetos, e de forma indireta, pela volatilização da amônia durante o tratamento e disposição do dejetos animal. Entre 2010 e 2016 foram tratados no Brasil 9,3 milhões de m³ de dejetos animais por biodigestão, resultando em uma mitigação de 105.186 Gg CO₂e com o uso de biogás (MARIANI, 2019).



Na Figura 2.28 é possível observar que as emissões pelo Manejo de Dejetos (3.B) totalizaram 22.616 Gg CO₂e em 2016, enquanto em 2010 foram de 19.617 Gg CO₂e. As participações dos bovinos e dos suínos foram de 45% e 38%, respectivamente. As Emissões Indiretas de N₂O pela deposição atmosférica (subcategoria 3.B.5) representaram 11% do total de emissão, em CO₂e. Em termos de participação por gás, em 2016, o CH₄ foi o mais representativo, com 78% do total de CO₂e, enquanto as emissões de N₂O contribuíram com 22%.

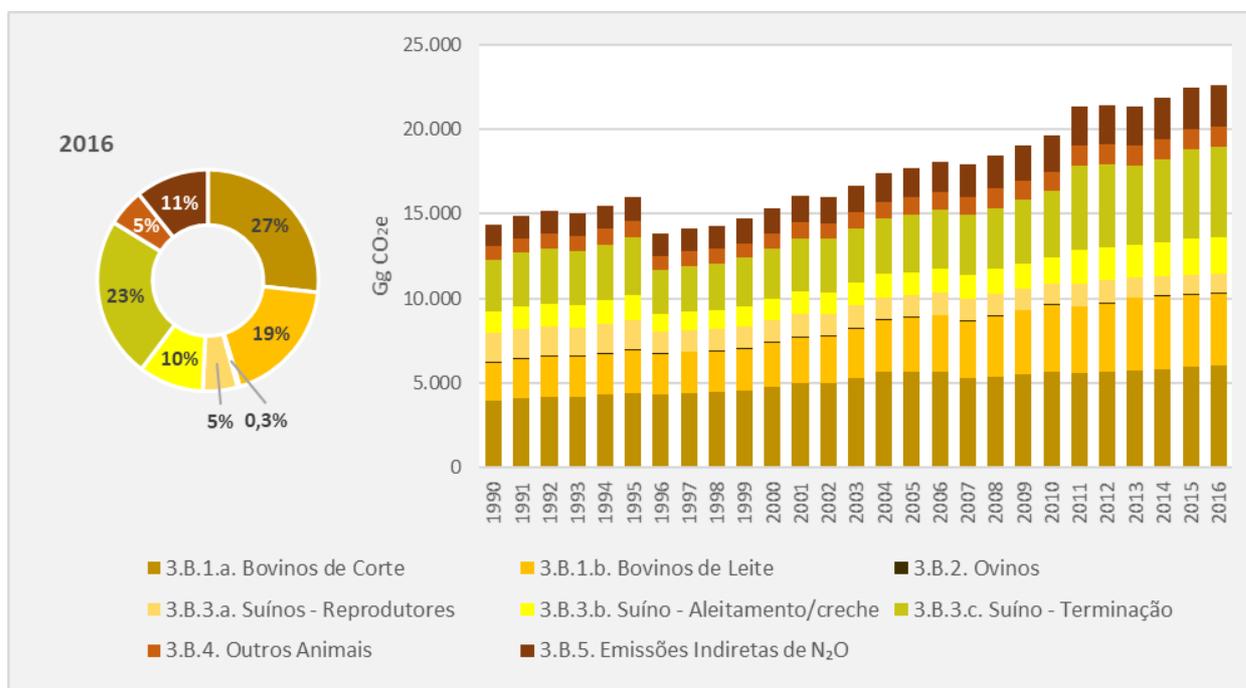


Figura 2.28. Emissões do Manejo de Dejetos (3.B), em CO₂e, das principais categorias animais de 1990 a 2016

2.5.4 Cultivo de Arroz (3.C)

As emissões decorrentes do cultivo de arroz referem-se ao gás CH₄¹⁷, e estão associadas ao sistema irrigado por inundação do solo, que cria condições anaeróbias para a decomposição da matéria orgânica, levando à geração de CH₄. No Brasil, a produção de arroz é desenvolvida em sistemas irrigado e sequeiro¹⁸, que responderam, em 2016, respectivamente, por 71,2% e 28,8% da área cultivada (EMBRAPA, 2018).

Em 2016, as emissões provenientes do Cultivo de Arroz Irrigado (3.C.2) foram estimadas em 8.369 Gg CO₂e, ou seja, 3,4% superiores às emissões de 2010. As emissões estão associadas com a área cultivada em sistema irrigado, bem como com a quantidade de material orgânico aportada ao solo. Neste mesmo ano, 95,5% das emissões foram provenientes do cultivo de arroz Irrigado com Inundação Contínua (3.C.2.a), e o restante das emissões (4,5%) pelo sistema Irrigado com Inundação Intermitente (3.C.2.b), conforme mostra a Figura 2.29.

Para o estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional do grão, foram considerados fatores de emissão distintos para os sistemas de preparo do solo (convencional, preparo antecipado e outros sistemas), por conseguinte, as emissões também foram influenciadas pela variação temporal da representatividade desses sistemas. Em Santa

¹⁷ As emissões de N₂O pelo cultivo de arroz são relatadas no subsetor "Solos Manejados (3D)", conforme recomenda IPCC 2006.

¹⁸ O fator de escala (SFw) que considera o regime hídrico durante o período de cultivo é nulo para cultivos de arroz de terras altas ou sequeiro (IPCC, 2006).



Catarina, por sua vez, as variações nas emissões sofreram, ainda, alguma influência de alterações do regime hídrico, do tipo e da época de incorporação do material orgânico ao solo, além da duração do período de cultivo do arroz.

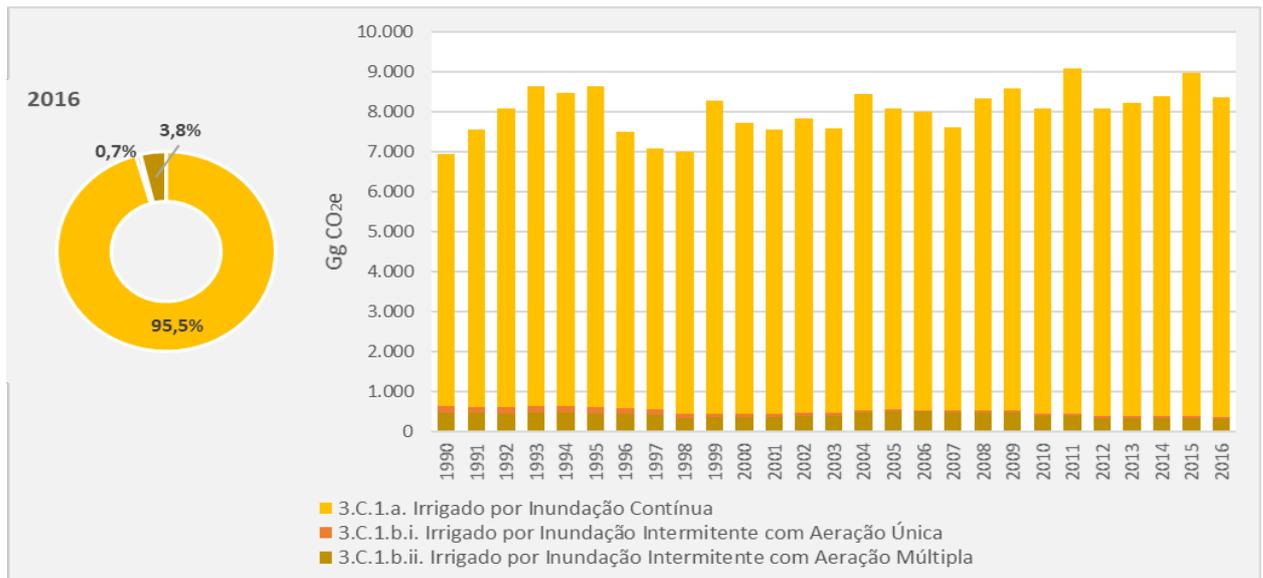


Figura 2.29. Emissões de CH₄ pelo Cultivo de Arroz (3.C), dos principais tipos de irrigação, de 1990 a 2016

2.5.5 Solos Manejados (3.D)

Este subsetor compreende as emissões diretas e indiretas de N₂O, decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados (sintéticos e orgânicos – de origem animal), deposição e incorporação de resíduos de colheita de cultivos e da renovação de pastagens, deposição de dejetos animais diretamente no solo (dejetos não manejados), mineralização de nitrogênio resultante da perda de matéria orgânica do solo, e pelo manejo de solos orgânicos. Essas emissões são decorrentes do processo de nitrificação e desnitrificação pelo aumento da quantidade de Nitrogênio (N) no solo, em função da utilização de insumos e do manejo das plantas e do solo, o que resulta em emissões diretas e indiretas de N₂O. No entanto, a adoção de fixação biológica de nitrogênio, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados, no Brasil tem contribuído para a uma importante redução nas emissões de N₂O no país. Estima-se que entre 2010 e 2016, a adoção da fixação biológica de nitrogênio em uma área cultivada de 10 milhões de hectares contribuiu com uma redução de 10.000 Gg CO₂e no país (MANZATTO et al., 2020).

As emissões de Solos Manejados (3.D) totalizaram 153.065 Gg CO₂e em 2016 (Figura 2.30) e foram produzidas em grande parte (77%) pelas Emissões Diretas (3.D.1). Das emissões diretas, a categoria Deposição de Dejetos Diretamente no Solo (3.D.1.c) foi a mais representativa, com 37,8%. Em seguida, a categoria Resíduos Agrícolas (3.D.1.d) representou 19,8%, e incluiu as emissões de culturas permanentes e temporárias. As Emissões Indiretas (3.D.2) de N₂O, que ocorrem após a deposição do nitrogênio volatilizado e lixiviado, corresponderam a 23,0% do total do subsetor em 2016. Em 2010, as emissões desse subsetor foram de 136.557 Gg CO₂e.

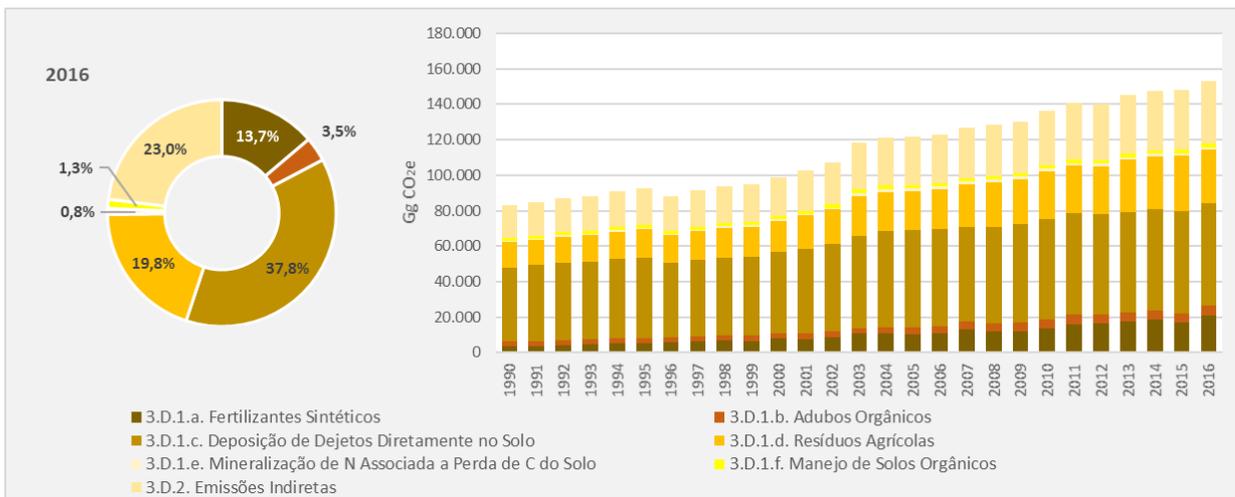


Figura 2.30. Emissões de Solos Manejados (3.D), em CO₂e, das principais categorias de emissão, de 1990 a 2016

2.5.6 Queima de Resíduos Agrícolas (3.F)

O subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) contabilizou as emissões de CH₄ e N₂O¹⁹, decorrentes da queima realizada na pré-colheita da cana-de-açúcar e na pós-colheita de algodão herbáceo, sendo que este último ocorreu até 1994.

Em 2016, as emissões deste subsetor foram estimadas em 509 Gg CO₂e. De 2010 a 2016, observou-se uma redução de 72,8% nas emissões derivadas da queima de resíduos de cana-de-açúcar no país, apesar do aumento na área colhida ter sido de 12,6%. Isso se deve ao processo de transição da colheita manual, que utiliza o fogo, para a colheita mecanizada (principalmente no estado de São Paulo), como se observa a partir de 2007, na Figura 2.31. As emissões de N₂O e CH₄ representaram 53% e 47% do total de CO₂e do subsetor em 2016, respectivamente.

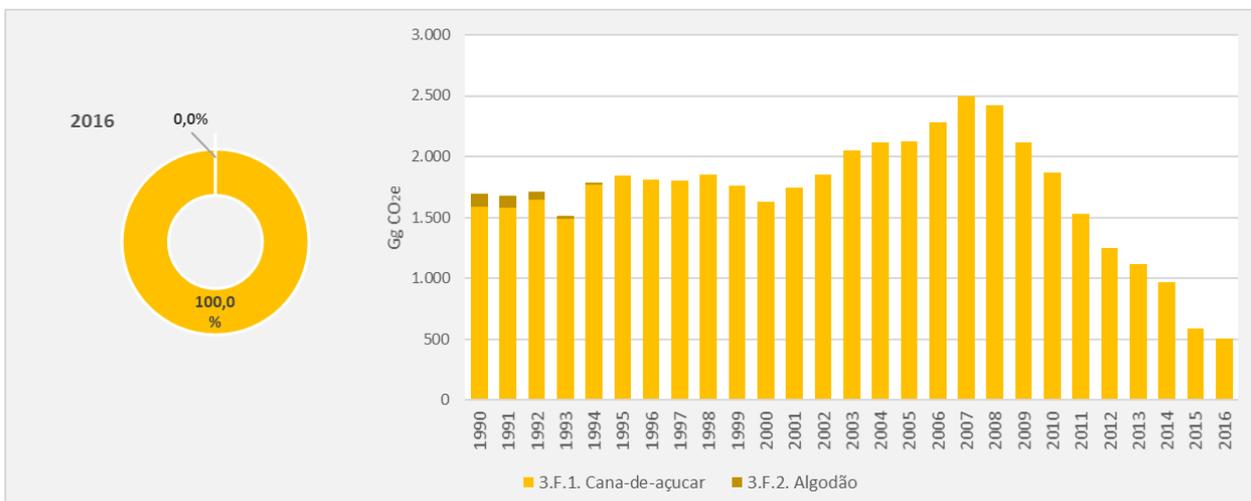


Figura 2.31. Emissões de Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), em CO₂e, das principais culturas agrícolas, de 1990 a 2016

¹⁹ De acordo com IPCC 2006, o CO₂ emitido não é contabilizado, pois já é considerado na absorção de CO₂ na fotossíntese da próxima safra. Além dos gases diretos, no subsetor 3.F há a contabilização dos gases de efeito estufa indireto CO e NO_x.



2.5.7 Calagem (3.G)

As emissões pela Calagem compreendem apenas o gás CO₂. No Brasil, o uso de calcário tem sido cada vez mais utilizado para fornecer Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) para as plantas e, principalmente, para reduzir a acidez característica dos seus solos. O cálcio estimula o crescimento das raízes, auxiliando na eficiência das plantas na busca por água e nutrientes do solo. Ele é essencial para um solo saudável, pois aumenta a atividade microbiana do solo resultando em uma maior mineralização da matéria orgânica e fixação biológica de nitrogênio. No entanto, após ser adicionado, o calcário libera carbonato que reage no solo, ocorrendo liberação de CO₂ para a atmosfera.

As emissões de CO₂ pela Calagem totalizaram 15.844 Gg CO₂ em 2016. As emissões deste subsetor estão relacionadas, principalmente, com o consumo de calcário para fins agrícolas, e desta maneira, acompanharam a tendência de tecnificação da agricultura nacional, como mostra a Figura 2.32. Em 2010, as emissões pela calagem foram de 11.292 Gg CO₂.

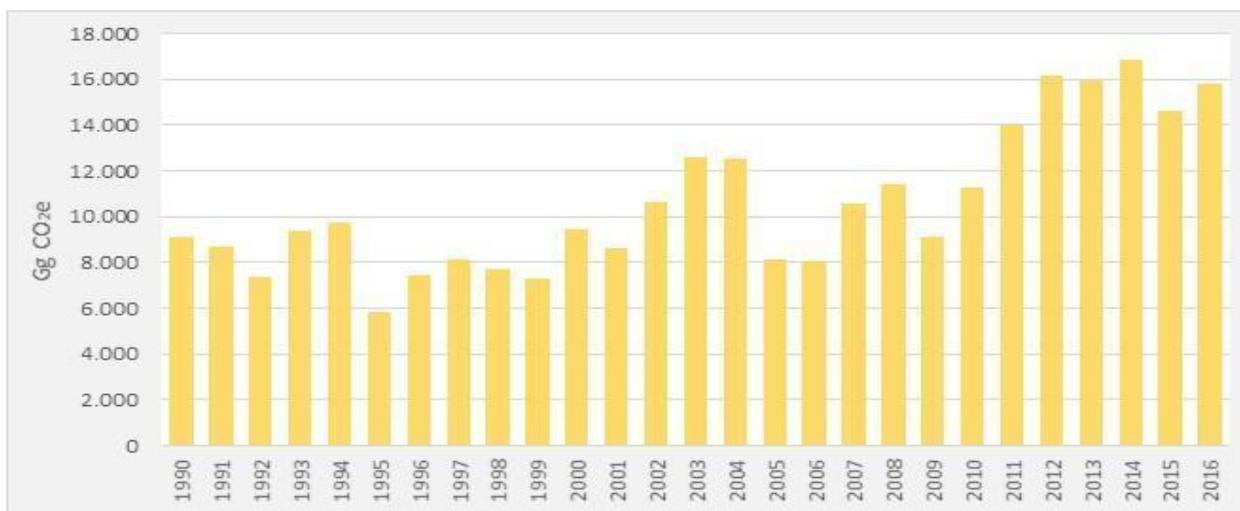


Figura 2.32. Emissões pela Calagem (3.G), em CO₂, de 1990 a 2016

2.5.8 Aplicação de Ureia (3.H)

No Brasil, a ureia é amplamente utilizada como fertilizante orgânico e, assim como em Calagem, a sua aplicação gera emissões de CO₂. A ureia possui carbono em sua constituição e, quando aplicada no solo, passa pelo processo de hidrólise, que gera amônia para as plantas e CO₂ que vai para a atmosfera.

Em 2016, as emissões pela Aplicação de Ureia totalizaram 3.888 Gg CO₂, enquanto em 2010 foram de 2.406 Gg CO₂e.

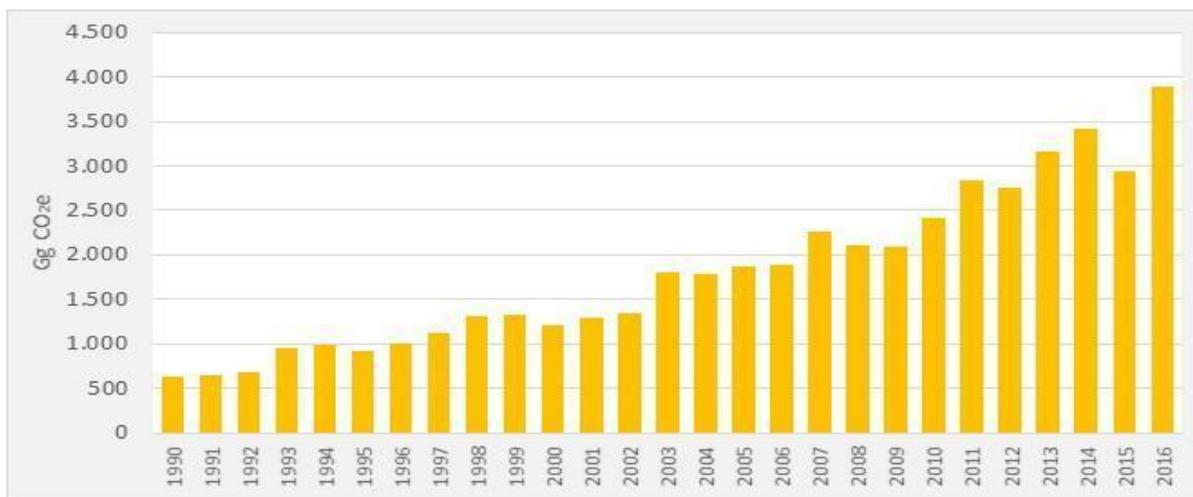


Figura 2.33. Emissões pela Aplicação de Ureia (3.H), em CO₂, de 1990 a 2016



2.6 SETOR USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (4)

O setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF, no acrônimo em inglês) apresenta as emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de CO₂ oriundas de perda ou ganho de carbono (C) associadas à mudança do uso e cobertura da terra. Além disso, são estimadas as emissões de CH₄ e N₂O e de gases de efeito estufa indireto (CO e NO_x), oriundas da queima de biomassa associada à dinâmica do uso e cobertura da terra. Consideram-se ainda as emissões e remoções de CO₂ por Produtos Florestais Madeireiros, isto é, produtos manufaturados/processados após a colheita da madeira, como papel, madeira serrada, painéis de madeira, entre outros.

Os subsetores do setor LULUCF são: Floresta (4.A), Agricultura (4.B), Campo e Pastagem (4.C), Área Alagada (4.D), Assentamento (4.E), Outra Terras (4.F) e Produtos Florestais Madeireiros (4.G), conforme as diretrizes do IPCC 2006.

Para esse setor, os resultados são representados por emissões ou remoções líquidas. Essas estimativas são resultantes do balanço entre as emissões brutas (de CO₂ por produtos florestais madeireiros e de gases não-CO₂ e CO₂ associadas à mudança do uso e cobertura da terra) e as remoções de CO₂ (por mudança do uso e cobertura da terra, manejo do solo e por produtos florestais madeireiros). Quando as emissões brutas são maiores que as remoções há emissões líquidas; quando as remoções são maiores que as emissões brutas há remoções líquidas.

*Para saber mais sobre os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento, consulte os **itens 4.1.3 e 4.1.4**.*

As emissões líquidas do setor LULUCF totalizaram 397.357 Gg CO₂e em 2016. Vale destacar que os Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento contribuíram para a redução das emissões desse setor a partir de 2005. Além disso, a partir de 2010, houve a implementação da política de baixa emissão de carbono na agropecuária (Plano ABC), que entre 2010 e 2018, recuperou 23 milhões de hectares de pastagem degradada, cujas remoções não são contabilizadas em sua totalidade neste Inventário Nacional devido a limitações metodológicas. Em termos de participação por gás, em 2016 o CO₂ contribuiu com 92%, ou seja, 365.404 Gg das emissões líquidas totais, enquanto as emissões de CH₄ (21.782 Gg CO₂e) e N₂O (10.172 Gg CO₂e) representaram 5% e 3%, respectivamente (Figura 2.34).

Em 2016, as emissões mais representativas do setor foram advindas do subsetor Campo e Pastagem (4.C) (640.377 Gg CO₂e), enquanto as maiores remoções foram oriundas do subsetor Floresta (4.A), que contribuiu com -347.821 Gg

CO₂e. Por outro lado, o subsetor Campo e Pastagem (4.C) cedeu área para outros subsetores como Agricultura, Floresta Secundária e Reflorestamento. Em 2016, 9,8 milhões de hectares de pastagem passaram a ser ocupadas por culturas anuais, perenes e semiperenes, e mais 4 milhões foram deixadas regenerar (3,1 milhões de hectares) ou foram reflorestadas (1,8 milhões de hectares), resultando em uma remoção de -192.852,1 Gg CO₂ desde 2010.

*Consulte o **Apêndice** para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)*

As emissões de CH₄ e N₂O, resultantes da queima de biomassa associada à dinâmica do uso e cobertura da terra, foram provenientes sobretudo do subsetor Campo e Pastagem (4.C), que contribuiu com 18.104 Gg CO₂e (ou 83%) e 8.273 Gg CO₂e (ou 81%) das emissões desses gases no setor, respectivamente, em 2016.

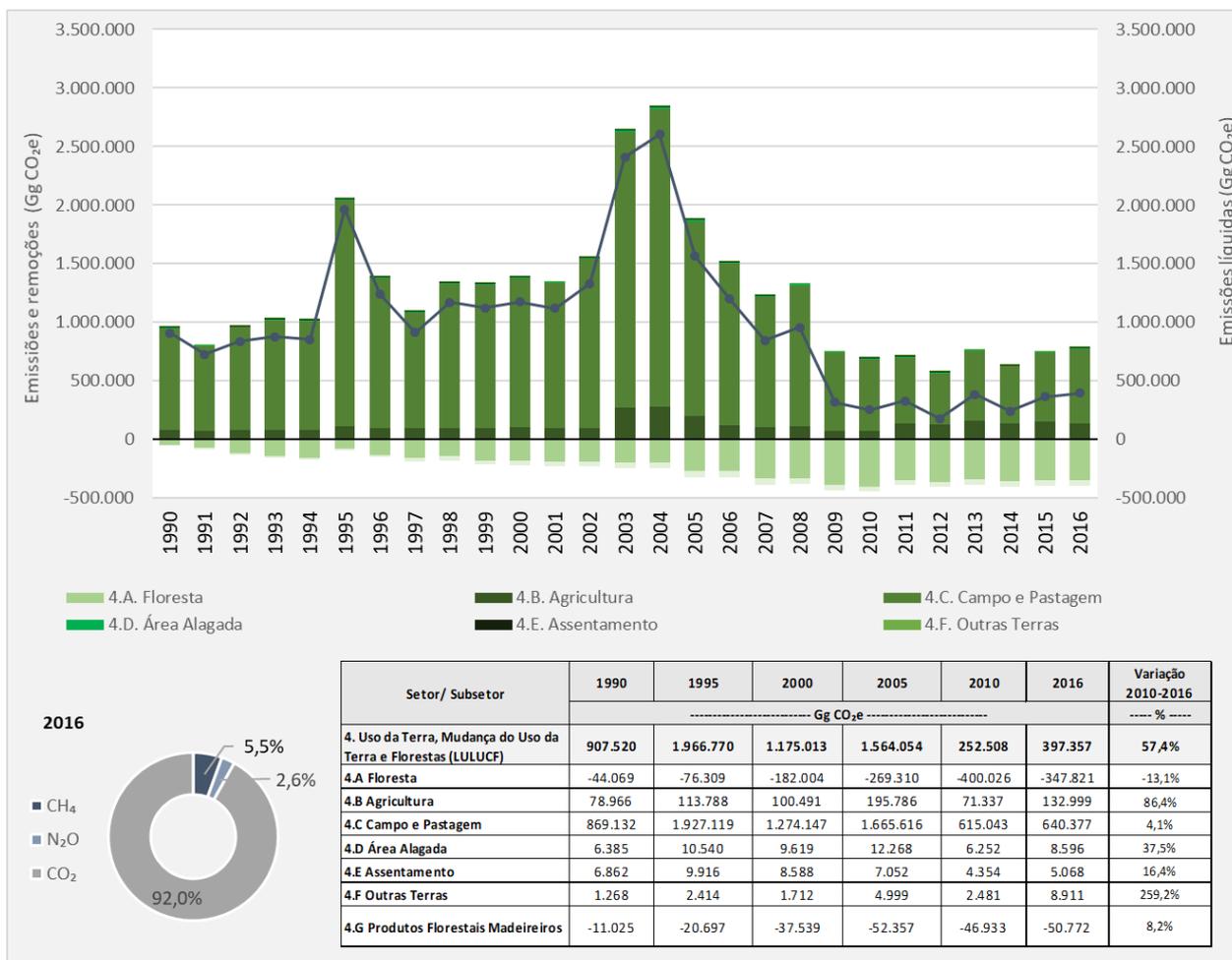


Figura 2.34. Emissões do setor LULUCF, em CO₂e, por subsetor, de 1990 a 2016

2.6.1 Aspectos metodológicos gerais do setor

As estimativas de emissões e remoções de CO₂ por mudança do uso e cobertura da terra e por produtos florestais madeireiros, assim como as emissões de gases não-CO₂, basearam-se na metodologia sugerida no IPCC 2006²⁰.

Para saber mais sobre os biomas brasileiros, consulte o item 1.1.

A fim de melhor representar as variações de estoque de carbono de seu território, o país estimou as emissões e remoções do setor LULUCF por bioma (Quadro 2.9). Para isso, foi criado um banco de dados espaciais composto por imagens de satélite e pelas camadas de informações destacadas na Figura 2.35. Vale ressaltar que as formações naturais protegidas dos mapas de uso e cobertura da terra, ou seja, dentro de uma Unidade de Conservação (UC) ou Terra Indígena (TI), foram classificadas como manejadas²¹ e, portanto, tiveram suas remoções de CO₂ contabilizadas.

A partir do cruzamento dessas camadas de informações espaciais, foram gerados mais de 23 milhões de polígonos, sendo que cada um representou uma conversão de uso e cobertura da terra para os períodos avaliados (1994-2002,

²⁰ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. (IPCC, 2006).

²¹ De acordo com o IPCC, áreas manejadas são aquelas que possuem relevante interesse ecológico, econômico e/ou social.



2002-2010 e 2010-2016), que foram apresentados em matrizes de conversão de uso e cobertura da terra, por período (*Tier 2*) (Figura 2.35).

A cada uso e cobertura da terra foram associados fatores de emissão e remoção de carbono para os diferentes compartimentos (matéria viva acima e abaixo do solo e matéria orgânica morta, e solo). Foram priorizados valores publicados em artigos científicos e dados nacionais de cada bioma, adotando-se os fatores *default* do IPCC 2006 somente quando as informações nacionais não estavam disponíveis (*Tier 1 e 2*). Assim, foi possível estimar as emissões brutas e as remoções da vegetação, as emissões e remoções do solo e, por conseguinte, as emissões e remoções líquidas de cada bioma, por período.

As estimativas anuais de emissões brutas da vegetação foram moduladas com base nas taxas de desmatamento disponíveis, por bioma. As remoções de CO₂ por formações naturais protegidas foram anualizadas com base na data de criação da UC ou TI. Já as remoções oriundas de outras transições de uso e cobertura da terra foram distribuídas igualmente para cada ano do período avaliado, assim como as emissões e remoções do solo.

Para o período entre 1990 e 1994, foram utilizados os dados produzidos no âmbito da Comunicação Inicial do Brasil (BRASIL, 2004), com atualização de fatores de estoque de carbono e sequestro de carbono de vegetação secundária.

As emissões e remoções de CO₂ por Produtos Florestais Madeireiros (4.G) foram calculadas com base na metodologia de fluxo atmosférico do IPCC 2006 (*Tier 1*) (Quadro 2.9).

As estimativas de gases não-CO₂ do setor (CH₄, N₂O, CO e NO_x) foram realizadas com base na **conversão de vegetação natural para uso antrópico**. Ou seja, é considerado que, após a retirada de parte da biomassa original na forma de lenha para fabricação de móveis ou para uso como combustível, ela é queimada (Quadro 2.9).

Conversão para uso antrópico

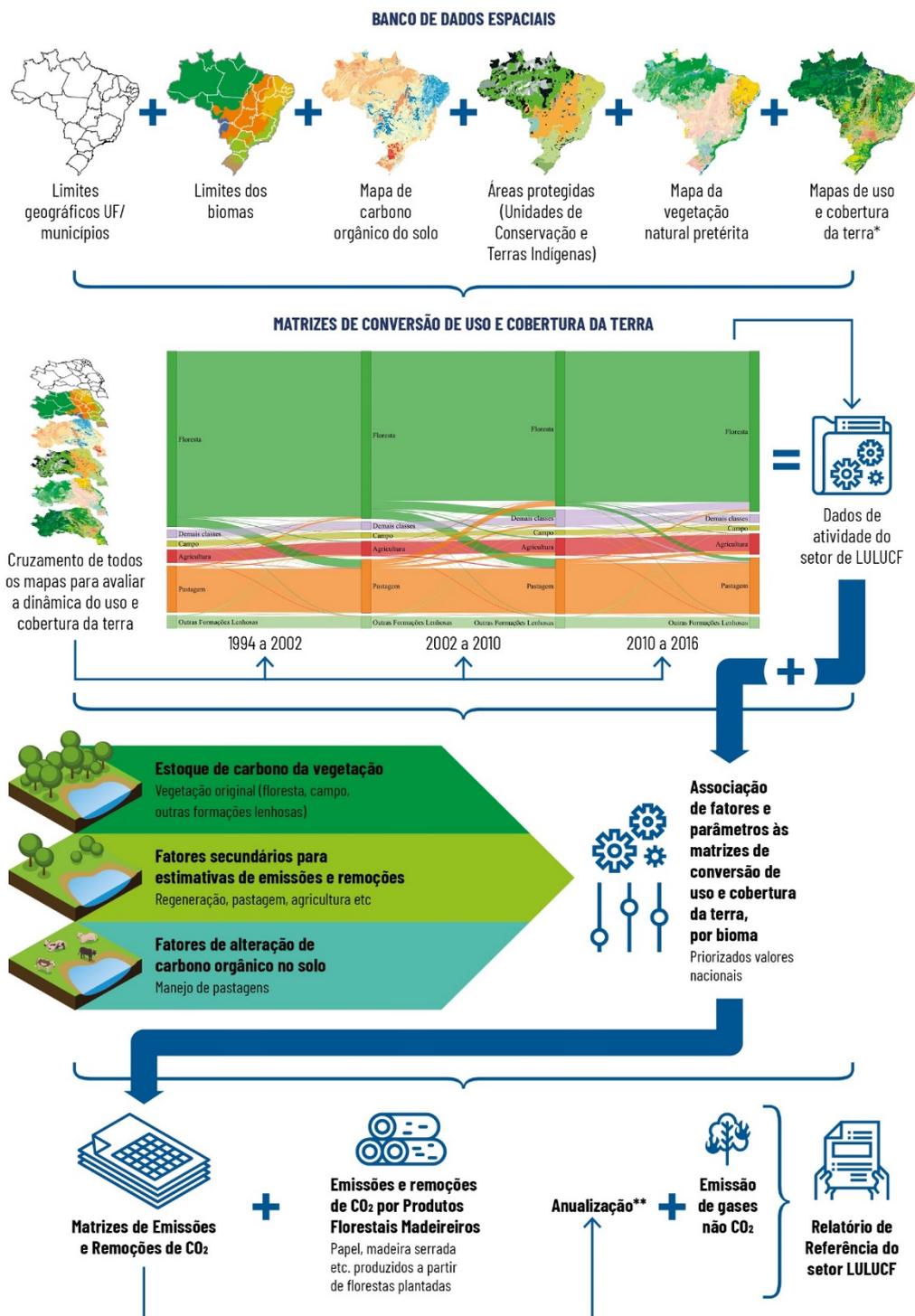
Consideraram-se as conversões de vegetação natural (protegidas ou não) para reflorestamento (floresta plantada), vegetação secundária, pastagem, agricultura, assentamento, reservatório, mineração e solo exposto.

Vale destacar que as emissões e remoções de solos minerais e solos orgânicos do setor LULUCF não foram desagregadas e as emissões de não-CO₂ da categoria Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) foram incluídas (IE) no subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) do setor Agropecuária.

O acompanhamento da dinâmica das queimadas e da regeneração vegetal ao longo dos anos inventariados não é simples, pois demanda o acesso a imagens de satélite com maior periodicidade, além de dados científicos específicos para associação de taxas de crescimento da vegetação. Além disso, a associação dos incêndios às causas antrópicas não é trivial, assumindo-se então a premissa de que queimadas ocorrem apenas nos casos em que se observa efetivamente a conversão de uso e cobertura da terra, não sendo estimadas (NE) em outras condições.

As emissões e remoções de CO₂ de Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) não foram contabilizadas por indisponibilidade de dados especializados por tipo de cultivo para os períodos anteriores a 2016. Apesar das Pastagens Severamente Degradadas (APD) terem sido mapeadas em 2016, as remoções de CO₂ foram contabilizadas apenas para áreas convertidas de outros usos que não pastagem para pastagens bem manejadas, para toda a série histórica. Essas estimativas foram feitas a partir da aplicação de fatores de alteração de carbono orgânico do solo estratificados proporcionalmente, por Unidade Federativa, com relação à qualidade das pastagens (naturais/plantadas em boas condições/plantadas em más condições).

A Figura 2.35 apresenta um resumo da metodologia para estimativas das emissões e remoções do setor LULUCF. No Quadro 2.9, são apresentados os níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor LULUCF.



*Anos mapeados: 1994, 2002, 2005 (somente Amazônia), 2010 e 2016.

**As taxas anuais de desmatamento auxiliam na distribuição das emissões e remoções de CO₂, ano a ano, de cada período.

Figura 2.35. Fluxograma da metodologia utilizada para elaboração do Inventário Nacional do setor LULUCF



Quadro 2.9. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor LULUCF

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
4.A. Floresta	4.A.1. Floresta permanecendo Floresta		T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	<p>Matrizes de conversão de uso e cobertura da terra, por período avaliado (1994-2002, 2002-2010 e 2010-2016), geradas de acordo com a Abordagem 3 do IPCC 2006, a partir da combinação das seguintes informações espaciais:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limites de unidades federativas e municípios (IBGE, 2017a); • Limite de biomas (IBGE, 2004); • Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (IBGE, 2004; EMBRAPA, 2003; BERNOUX et al., 2002); • Áreas protegidas: Unidades de Conservação (ICMBio, 2018) e Terras Indígenas (FUNAI, 2018); • Mapa de vegetação natural pretérita (adaptado de IBGE, 2017a); • Mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1994, 2002, 2005 (somente o bioma 	<ul style="list-style-type: none"> • Estoque de carbono da biomassa da vegetação natural pretérita de todos os compartimentos (acima do solo, abaixo do solo e matéria orgânica morta, constituída de madeira morta em pé e caída, e serapilheira) com base em dados de campo e literatura científica. Na ausência de informações, razões e/ou valores default do IPCC foram usados (madeira morta do IPCC, 2003 e abaixo do solo do IPCC, 2006). Para o bioma Amazônia foram usados dados LiDAR aerotransportados (EBA/CCST-INPE). O teor de carbono da biomassa seca florestal foi de 47% para todos os compartimentos, com exceção da serapilheira (46%) (IPCC, 2006; OMETTO et al., 2006). Já para a vegetação campestre e outras formações lenhosas, considerou-se 47% para a biomassa acima e abaixo do sol, 50% para madeira morta e 40% para serapilheira (IPCC, 2006).
		4.A.2.a Agricultura para Floresta	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.A.2.b Campo e Pastagem para Floresta	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.A.2.c Área Alagada para Floresta	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.A.2.d Assentamento para Floresta	NO	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.A.2.e Outras Terras para Floresta	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
4.B. Agricultura	4.B.1 Agricultura permanecendo Agricultura		NE	IE	IE	IE	IE	IE		
		4.B.2.a Floresta para Agricultura	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		



Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
	4.B.2 Área convertida para Agricultura	4.B.2.b Campo e Pastagem para Agricultura	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	Amazônia), 2010 e 2016 em escala 1:250.000 obtidos a partir de interpretação de imagens de satélite de resolução média, com as categorias: Floresta Manejada (dentro de área protegida), Floresta Não Manejada, Floresta Secundária, Corte Seletivo (somente para o bioma Amazônia), Reflorestamento, Campo Manejado (dentro de área protegida), Campo Não Manejado, Campo Secundário, Outras Formações Lenhosas Manejadas (dentro de área protegida), Outras Formações Lenhosas Não Manejadas, Outras Formações Lenhosas Secundárias, Pastagem, Agricultura, Assentamento, Água, Reservatórios artificiais, Afloramento rochoso, Dunas, Solo Exposto, Mineração e Áreas Não Observada (nuvens e/ou sombras nas imagens de satélite).	<ul style="list-style-type: none"> • Estoque de carbono orgânico do solo: metodologia de Bernoux et al. (2002) adaptada com os mapas de vegetação (IBGE, 2004) e de solos (EMBRAPA, 2003). • Estoque/Remoção de carbono da biomassa de pastagem, cultivos agrícolas, vegetação secundária e vegetação natural protegida: obtidos a partir de literatura científica e, em alguns casos, foram utilizados valores default do IPCC (IPCC, 2006). Categorias como Assentamento, Solo Exposto, Mineração, Reservatório, Dunas e Afloramento Rochoso tiveram seu estoque de carbono associado a zero. • Fatores de alteração do carbono orgânico do solo: obtidos a partir de dados de campos nacionais para reflorestamento, cultivos agrícolas (plantio direto x plantio convencional) e pastagens
		4.B.2.c Área Alagada para Agricultura	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.B.2.d Assentamento para Agricultura	NO	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.B.2.e Outras Terras para Agricultura	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
4.C Campos/ Pastagem	4.C.1 Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem		T1, T2	NE	NE	NE	NE	NE	Dados complementares de uso e cobertura da terra:	
	4.C.2 Área convertida para Campo e Pastagem	4.C.2.a Floresta para Campo e Pastagem	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
		4.C.2.b Agricultura para Campo e Pastagem	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.C.2.c Área Alagada para Campo e Pastagem	NO	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.C.2.d Assentamento para Campo e Pastagem	NO	NA	NA	NA	NA	NA		



Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM _{VO} C	Dados de atividade	Fatores de Emissão
		4.C.2.e Outras Terras para Campo e Pastagem	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA	<p>- áreas de tipo de cultivo (anual ou perene) por Unidade Federativa do IBGE, para cada ano avaliado (para detalhamento de Agricultura para os anos pretéritos a 2016);</p> <p>- área de floresta plantada por espécie e Unidade Federativa do IBÁ (para detalhamento do Reflorestamento);</p> <p>- área por Unidade Federativa e tipo de preparo da terra (plantio convencional ou direto) do IBGE (2017a) (para aplicação de fatores de alteração de carbono orgânico do solo);</p> <p>- área por Unidades Federativas das condições das pastagens (naturais, plantadas em boas condições, plantadas em más condições) do IBGE (2017a) (para aplicação de fatores de alteração de carbono orgânico do solo).</p> <p>Dados para anualização das emissões brutas:</p>	<p>(naturais/plantadas em boas condições/plantadas em más condições/severamente degradadas).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fatores de combustão: obtidos a partir de revisão de literatura por bioma e formação vegetal. • Fatores de emissão de gases não-CO₂: default IPCC 2006, diferenciado por formação vegetal.
4.D Área Alagada	4.D.1 Área Alagada permanecendo Área Alagada		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
	4.D.2 Área convertida para Área Alagada	4.D.2.a Floresta para Área Alagada	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
		4.D.2.b Agricultura para Área Alagada	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.D.2.c Campo e Pastagem para Área Alagada	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.D.2.d Assentamento para Área Alagada	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.D.2.e Outras Terras para Área Alagada	NA	NA	NA	NA	NA			
4.E Assentamento	4.E.1 Assentamento permanecendo Assentamento		NA	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.E.2.a Floresta para Assentamento	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		



Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NM/VOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
	4.E.2 Área convertida para Assentamento	4.E.2.b Agricultura para Assentamento	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA	<p>- PRODES para a Amazônia INPE (2019a);</p> <p>- Atlas de Remanescentes Florestais da Mata Atlântica para Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2019);</p> <p>- PRODES para o Cerrado (INPE, 2019b);</p> <p>- PMDBBS para Caatinga, Pampa e Pantanal (MMA, 2012).</p>	
		4.E.2.c Campo e Pastagem para Assentamento	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
		4.E.2.d Área Alagada para Assentamento	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.E.2.e Outras Terras para Assentamento	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
4.F Outras Terras	4.F.1 Outras Terras permanecendo Outras Terras		NA	NA	NA	NA	NA	NA	<p>Dados para cálculo das emissões de gases não-CO₂ por queima da biomassa:</p> <p>- Lenha e madeira em tora provenientes de extração vegetal (IBGE, 2016).</p>	
	4.F.2 Área convertida para Outras Terras	4.F.2.a Floresta para Outras Terras	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
		4.F.2.b Agricultura para Outras Terras	T1, T2	NA	NA	NA	NA	NA		
		4.F.2.c Campo e Pastagem para Outras Terras	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2	T1, T2		
		4.F.2.d Área Alagada para Outras Terras	NE	NA	NA	NA	NA	NA		



Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOOC	Dados de atividade	Fatores de Emissão
		4.F.2.e Assentamento para Outras Terras	NE	NA	NA	NA	NA	NA		
4.G Produtos Florestais Madeiros			T1	T1	T1	T1	T1	T1	<ul style="list-style-type: none"> • Produção, importação e exportação de madeira serrada, painéis de madeira, papel e papelão (FAO, 2019). • Resíduos originados de madeira, papel e papelão e de resíduos de parques e jardins. 	<i>Fatores de conversão de unidades</i> (densidade, fração de carbono e fator de carbono) foram os valores <i>default</i> do IPCC 2006 para i) madeiras em tora, tora industrial, serrada, em pasta, cavacos, partículas, lenha, resíduos de madeira; ii) carvão vegetal; iii) painéis de madeira; iv) papel e papelão, pasta, pasta de fibra reciclada e papel reciclado.

Nota: níveis metodológicos IPCC, 2006 — T1: Tier 1; T2: Tier 2; T3: Tier 3.

Notações: NA — não aplicável, pois não há metodologia para estimar as emissões; NO — não ocorre a emissão do gás no país; NE — não estimada.



2.6.2 Floresta (4.A)

Esse subsetor é caracterizado principalmente pelo adensamento de árvores no estrato superior do dossel (copa das árvores) das formações vegetacionais, onde algumas árvores podem chegar a atingir alturas até ou superiores a 50 m (IBGE, 2012). Consideram-se tanto as florestas naturais como as plantadas. O subsetor Floresta (4.A) divide-se nas categorias Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) e Área convertida para Floresta (4.A.2), que levam em consideração as subdivisões nacionais (Quadro 2.10). As emissões e remoções de CO₂ estão atreladas à perda ou ao ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra, para todos os compartimentos (matéria viva acima e abaixo do solo, matéria orgânica morta e solo). Já as emissões de CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para reflorestamento.

Quadro 2.10. Subdivisão nacional do subsetor Floresta

Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
Floresta	Floresta Manejada	Floresta natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificada com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. Encontra-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, tem suas remoções de CO ₂ contabilizadas, com base em levantamento científico, quando permanecem com a mesma cobertura entre os períodos avaliados.
	Floresta Manejada Não	Floresta natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificada com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para um uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando ela permanece intacta entre os períodos avaliados, visto que não há intervenção antrópica.
	Floresta Secundária	Classificada com base no mapa de vegetação pretérita natural e resultante de um processo de regeneração natural associado a um uso antrópico prévio, por exemplo, cultivo agrícola ou pastagem.
	Corte Seletivo	Identificado apenas no bioma Amazônia; consiste na retirada de árvores em florestas nativas, que pode estar associada à prática de manejo florestal sustentável, regulamentada e autorizada por órgãos competentes, bem como prática de corte seletivo predatório, que consiste na exploração insustentável de madeira ao longo do tempo e sem autorização dos órgãos competentes.
	Reflorestamento	Florestas plantadas, em monocultura, em sua grande maioria compostas por espécies exóticas. No caso do Brasil, há predomínio de <i>Eucalyptus</i> spp. e <i>Pinus</i> spp, mas também há plantios de seringueira e teca.

Em 2016, o subsetor Floresta (4.A) totalizou uma remoção líquida de -347.821 Gg CO₂, enquanto em 2010 foi de -400.026 Gg CO₂e.



As remoções líquidas da categoria Floresta permanecendo Floresta (4.A.1) (-310.643 Gg CO₂e) contribuíram com 89% das remoções líquidas em 2016, enquanto a categoria Área convertida para Floresta (4.A.2) contribuiu com os demais 11% (-37.178 Gg CO₂e) (Figura 2.36).

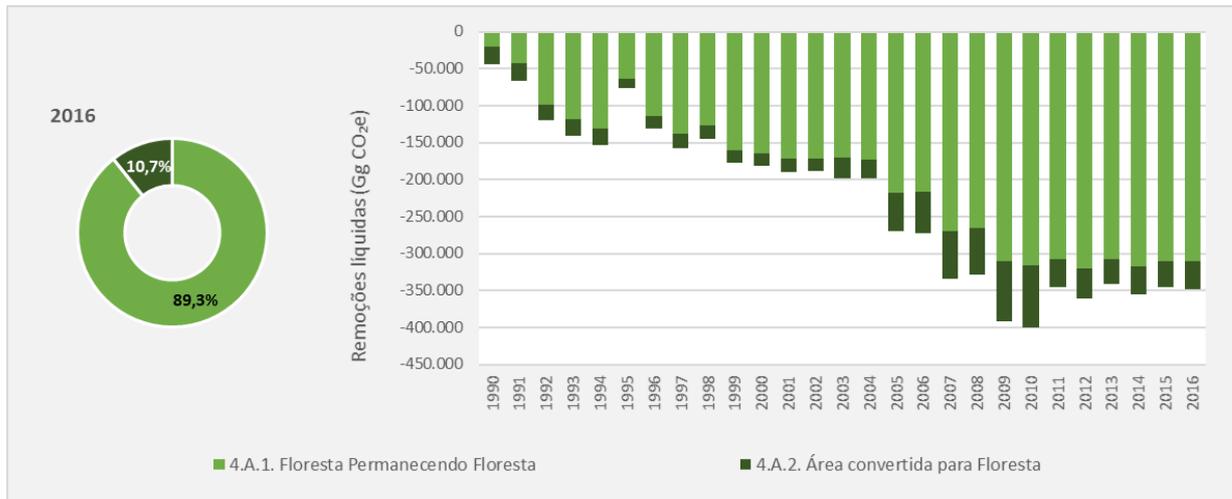


Figura 2.36. Remoções líquidas das categorias do subsetor Floresta (4.A), em CO₂e, de 1990 a 2016

2.6.3 Agricultura (4.B)

O subsetor Agricultura (4.B) compreende áreas cultivadas com lavouras temporárias, perenes ou semiperenes. Também estão incluídas nesta categoria as terras que são colocadas em pousio antes de serem cultivadas novamente. Este subsetor inclui as categorias Agricultura permanecendo Agricultura (4.B.1) e Área convertida para Agricultura (4.B.2), que levam em consideração as subdivisões nacionais (Quadro 2.11). As emissões e remoções de CO₂ estão atreladas à perda ou ao ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra, para todos os compartimentos (matéria viva acima e abaixo do solo, matéria orgânica morta e solo), enquanto as emissões de CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para agricultura.

Quadro 2.11. Subdivisão nacional do subsetor Agricultura

Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
Agricultura	Agricultura anual	Áreas destinadas às culturas que possuem um ciclo anual de produção, que culmina na morte da planta após a colheita da safra. São consideradas nesta categoria as áreas para horticultura e cultivo de soja, arroz, feijão, milho, algodão, tubérculos, etc.
	Agricultura perene	Áreas destinadas às culturas que produzem ao longo de vários anos, sem a necessidade de novo plantio após as colheitas. As culturas perenes incluem árvores e arbustos, representados principalmente por frutíferas, como os citrus, banana, coco, café, entre outras.



Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
	Agricultura semiperene	No Brasil, esse tipo de cultivo é representado pela cana-de-açúcar, que é colhida várias vezes antes de haver um novo plantio. Os cultivos semiperenes podem produzir durante um período que varia de cinco a seis anos, dependendo do manejo de cortes.

O subsetor Agricultura (4.B) resultou em uma emissão líquida de 132.999 Gg CO₂e em 2016, enquanto em 2010 foi de 71.337 Gg CO₂e (Figura 2.37).

A única categoria contabilizada nesse setor foi Área convertida para Agricultura (4.B.2). As subcategorias Floresta para Agricultura (4.B.2.a) e Campo e Pastagem para Agricultura (4.B.2.b) contribuíram com 76.252 Gg CO₂e e 56.747 Gg CO₂e, respectivamente, para as emissões líquidas dessa categoria em 2016. Já a subcategoria Outras Terras para Agricultura (4.B.2.e) contribuiu com uma remoção de -0,77 Gg CO₂e (Figura 1.37).

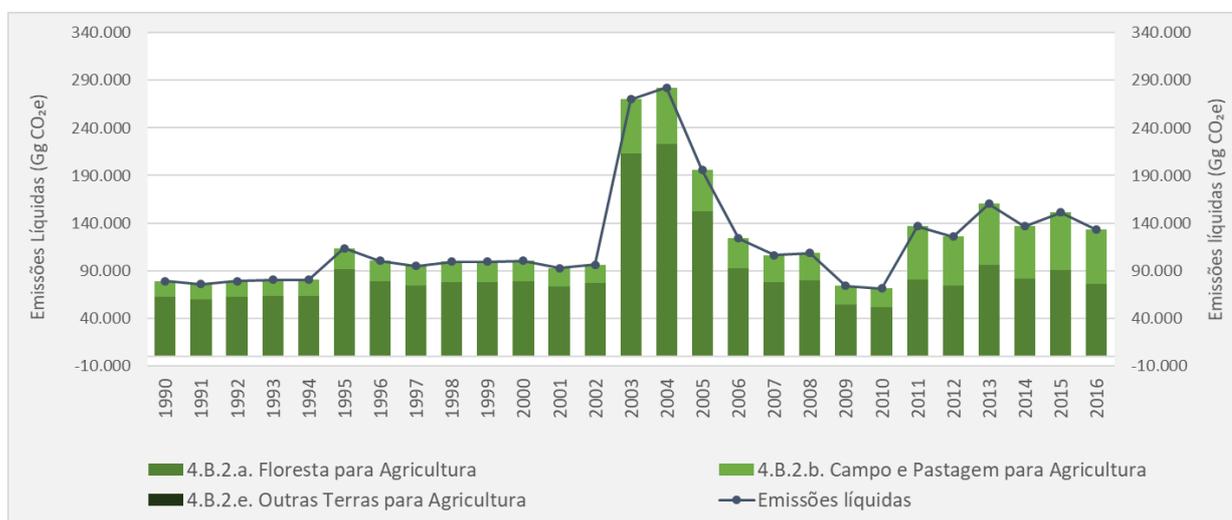


Figura 2.37. Emissões e remoções líquidas das subcategorias da categoria Área convertida para Agricultura (4.B.2) do subsetor Agricultura (4.B), em CO₂e, de 1990 a 2016

2.6.4 Campo e Pastagem (4.C)

O subsetor Campo e Pastagem (4.C) inclui os campos naturais, pastagens naturais e plantadas, e Outras Formações Lenhosas. O Campo é caracterizado por áreas com predominância de vegetação herbácea e arbustiva, onde a incidência da luz solar ocorre diretamente sobre o solo ou estratos inferiores, uma vez que não há o adensamento de dossel nesses ambientes (IBGE, 2012). A inserção das Outras Formações Lenhosas nesse subsetor considerou a definição utilizada no *Forest Resources Assessment (FRA)* da FAO (2015), que as classifica como formações que não se enquadram no subsetor Floresta, que abrangem mais de 0,5 hectares com árvores superiores a 5 metros e uma cobertura de dossel de 5 a 10%, ou com árvores capazes de atingir esses limites, ou com uma cobertura combinada de arbustos e árvores acima de 10%.

Este subsetor divide-se nas categorias Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem (4.C.1) e Área convertida para Campo e Pastagem (4.C.2), que levam em consideração as características nacionais (Quadro 2.12). As emissões e remoções de CO₂ estão atreladas à perda ou ao ganho de carbono por mudança do uso e cobertura da terra,



incluindo o manejo do solo, para todos os compartimentos (matéria viva acima e abaixo do solo e matéria orgânica morta, e solo). As Pastagens Severamente Degradadas (APD) foram mapeadas em 2016. As remoções de CO₂ foram contabilizadas apenas para áreas convertidas de outros usos que não pastagem para pastagens bem manejadas, para toda a série histórica, a partir de fatores de alteração de carbono orgânico do solo ponderados pela qualidade das pastagens. Com relação as emissões de CH₄ e N₂O estas estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para pastagem, especificamente.

Quadro 2.12. Subdivisão nacional do subsetor Campo e Pastagem

Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
Campo e Pastagem	Campo Manejado	Campo natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificado com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. Encontra-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, tem suas remoções de CO ₂ contabilizadas, com base em levantamento científico, quando permanecem com a mesma cobertura entre os períodos avaliados.
	Campo Não Manejado	Campo natural, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características, classificada com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para um uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando ela permanece com mesma cobertura entre os períodos avaliados, visto que não há intervenção antrópica.
	Campo Secundário	Classificado com base no mapa de vegetação pretérita natural e resultantes de um processo de regeneração natural associado a um uso antrópico prévio, por exemplo, cultivo agrícola ou pastagem.
	Pastagem	Áreas destinadas ao pastoreio, podendo ser compostas tanto por campos pastejáveis de origem nativa (pastagens naturais) quanto plantada (em sua maioria de espécies de gramíneas exóticas). A junção de áreas (natural e plantada) ocorreu, principalmente, devido à semelhança espectral observada nas imagens de satélite, sobretudo em áreas de pastagens degradadas ou com grande variação sazonal. Em biomas como Pampa e Pantanal há extenso uso de pastagens naturais. Já em biomas como a Amazônia e Cerrado, há predomínio de pastagens cultivadas.
	Pastagem severamente degradada	São áreas de pastagens com degradação biológica avançada, caracterizada principalmente pela presença de solo exposto e de baixa produtividade.
	Outras Formações Lenhosas Manejadas	Outras Formações Lenhosas naturais, com estrutura intermediária entre Floresta e Campo, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características. Classificadas com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. Encontra-se em área protegida (UC ou TI) e, portanto, tem suas remoções de CO ₂ contabilizadas, com base em levantamento científico, quando permanecem com a mesma cobertura entre os períodos avaliados.



Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
	Outras Formações Lenhosas Não Manejadas	Outras Formações Lenhosas naturais, com estrutura intermediária entre Floresta e Campo, onde a ação humana não provocou alterações significativas das características. Classificadas com base no mapa de vegetação pretérita natural também com relação à sua fitofisionomia. As emissões e remoções só são contabilizadas quando há conversão para um uso antrópico. Não são contabilizadas remoções de CO ₂ quando ela permanece com mesma cobertura entre os períodos avaliados, visto que não há intervenção antrópica.
	Outras Formações Lenhosas Secundárias	Classificadas com base no mapa de vegetação pretérita natural e resultantes de um processo de regeneração natural associado a um uso antrópico prévio, por exemplo, cultivo agrícola ou pastagem.

As emissões líquidas de CO₂ do subsetor Campo e Pastagem (4.C) totalizaram 640.377 Gg CO₂e em 2016, e 615.043 Gg CO₂e em 2010.

A categoria Campo e Pastagem permanecendo Campo e Pastagem (4.C.1) contribuiu com uma remoção líquida de -3.421 Gg CO₂e para esse subsetor em 2016. Esta remoção não contabiliza a área de pastagem severamente degradada em 2010 que foi recuperada e passou a ser área de pastagem bem manejada em 2016. Segundo estimativas de FERREIRA JUNIOR et al (2020), 26,8 milhões de hectares foram recuperados, entre 2010 e 2018, no Brasil.

A categoria Área convertida para Campo e Pastagem (4.C.2) emitiu 643.799 Gg CO₂e em 2016, sendo que as subcategorias Floresta para Campo e Pastagem (4.C.2.a) e Agricultura para Campo e Pastagem (4.C.2.b) contribuíram com 641.068 Gg CO₂e e 2.741 Gg CO₂e. A subcategoria Outras Terras para Campo e Pastagem (4.C.2.e) contribuiu com uma remoção líquida de -11 Gg CO₂ (Figura 2.38).

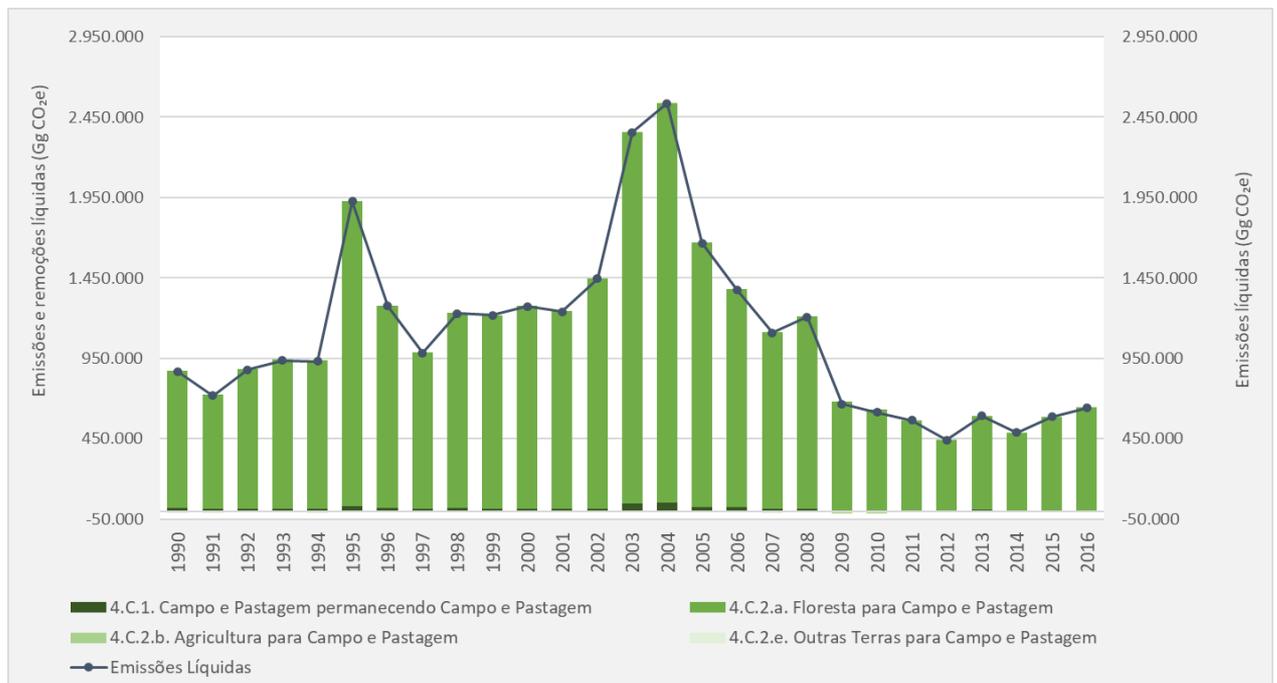


Figura 2.38. Emissões e remoções líquidas de categorias e subcategorias do subsetor Campo e Pastagem (4.C), em CO₂e, de 1990 a 2016



2.6.5 Área Alagada (4.D)

O subsetor Área Alagada (4.D) compreende as regiões de marismas (formação em zonas costeiras), pântanos, turfeiras ou águas de regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas (excluindo os oceanos). Este subsetor compreende as categorias Área Alagada permanecendo Área Alagada (4.D.1) e Área convertida para Área Alagada (4.D.2), de acordo com as subdivisões nacionais (Quadro 2.13). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para reservatório, especificamente.

Quadro 2.13. Subdivisão nacional do subsetor Área Alagada

Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
Área Alagada	Água	Corpos d'água naturais lânticos (lagos) e lóticos (rios), desde as áreas de nascentes onde os cursos d'água apresentam pequenas dimensões, até os grandes rios, como o Amazonas e São Francisco. Essas áreas não são contabilizadas como Áreas Manejadas para fins do Inventário, uma vez que não sofrem interferência antrópica.
	Reservatório	Corpos d'água criados por ação antrópica, como os lagos artificiais e as áreas inundadas para a construção de hidrelétricas e abastecimento humano.

O subsetor Área Alagada (4.D) contribuiu com 8.596 Gg CO₂e de emissões de GEE em 2016, que advieram apenas da categoria Área convertida para Área Alagada (4.D.2). Em 2010, as emissões líquidas desse subsetor foram de 6.252 Gg CO₂e (Figura 2.39).

A subcategoria Floresta para Área Alagada (4.D.2.a) contribuiu com 89% (7.659 Gg CO₂e) das emissões líquidas da categoria Área convertida para Área Alagada (4.D.2), seguida das subcategorias Campo e Pastagem para Área Alagada (4.D.2.c), que contribuiu com 10% (853 Gg CO₂e), e Agricultura para Área Alagada (4.D.2.b), que contribuiu com 1% (84 Gg CO₂e) (Figura 2.39).

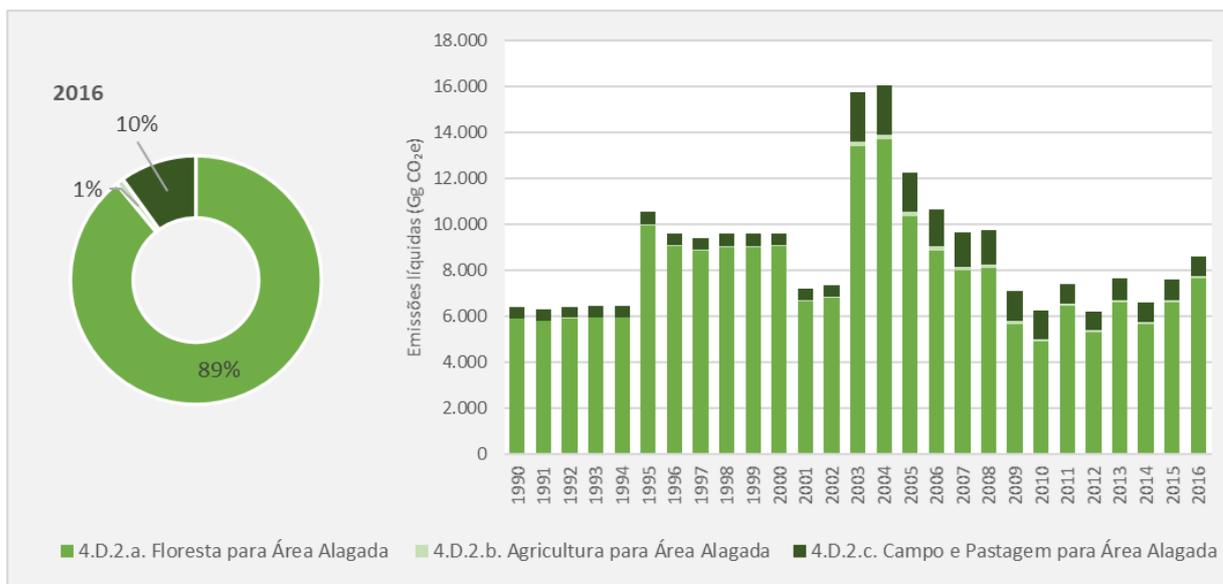


Figura 2.39. Emissões líquidas de subcategorias da categoria Área convertida para Área Alagada (4.D.2) do subsetor Área Alagada (4.D) em CO₂e, de 1990 a 2016

2.6.6 Assentamento (4.E)

O subsetor Assentamento (4.E) é caracterizado pela presença de estruturas típicas para habitação (edificações e aglomerações de residências), construções industriais e rotas para locomoção de pessoas e meios de transporte. Este subsetor divide-se nas categorias Assentamento permanecendo Assentamento (4.E.1) e Área convertida para Assentamento (4.E.2). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para Assentamento, especificamente.

As emissões de GEE de 2016 do subsetor Assentamento (4.E) corresponderam a 5.068 Gg CO₂e, oriundas somente da categoria Área convertida para Assentamento (4.E.2), enquanto em 2010 as emissões foram de 4.354 Gg CO₂e (Figura 2.40).

As subcategorias com maior representatividade em 2016 foram Floresta para Assentamento (4.E.2.a), que emitiu 2.594 Gg CO₂e e contribuiu com 51%, e Campo e Pastagem para Assentamento (4.E.2.c), que emitiu 2.106 Gg CO₂e e representou 42% das emissões da categoria Área convertida para Assentamento (4.E.2) (Figura 2.40). A subcategoria Agricultura para Assentamento (4.E.2.b) contribuiu com os demais 7%, com uma emissão de 367 Gg CO₂e.

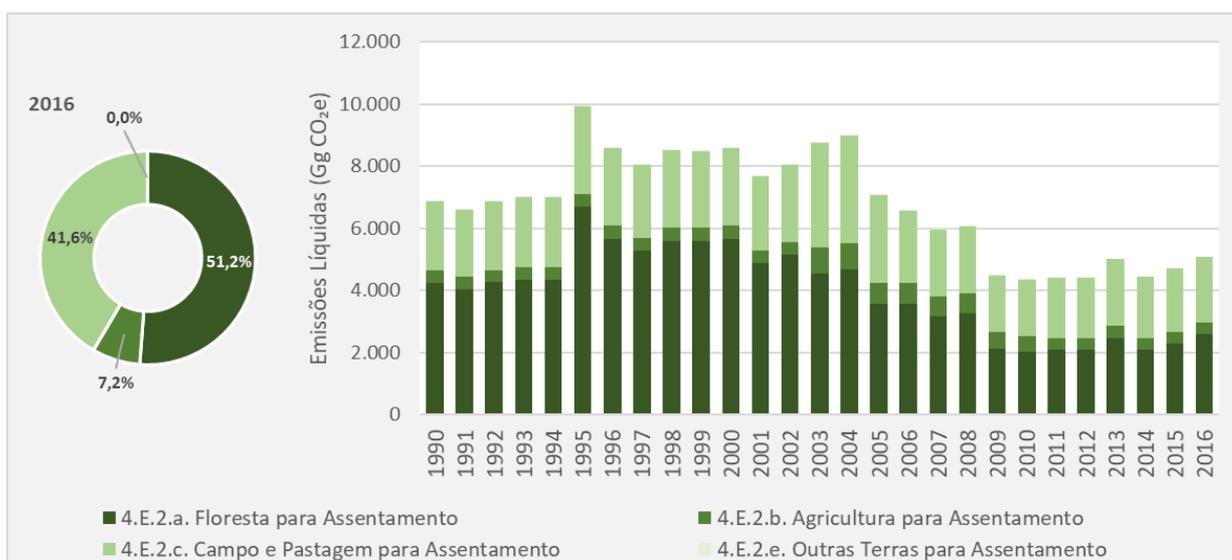


Figura 2.40. Emissões líquidas das subcategorias da categoria Área convertida para Assentamento (4.E.2) do subsetor Assentamento (4.E), em CO₂e, de 1990 a 2016

2.6.7 Outras Terras (4.F)

O subsetor Outras Terras (4.F) inclui áreas naturais, como dunas e afloramento rochoso, e áreas antropizadas, como solo exposto e mineração, conforme subdivisões adotadas pelo país (Quadro 2.14). Este subsetor compreende as categorias Outras Terras permanecendo Outras Terras (4.F.1) e Área convertida para Outras Terras (4.F.2). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O estão atreladas ao processo de conversão de vegetação natural para mineração e solo exposto, especificamente.

Quadro 2.14. Subdivisão nacional do subsetor Outras Terras

Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
Outras terras	Dunas manejadas	Áreas naturais compostas somente por areia, sem cobertura vegetal, localizadas em área protegida (UC ou TI).
	Dunas não manejadas	Áreas naturais compostas somente por areia, sem cobertura vegetal, fora de área protegida.
	Afloramento rochoso manejado	Áreas em que ocorre a exposição natural de rochas na superfície do solo, sem cobertura vegetal, localizadas em área protegida (UC ou TI).
	Afloramento rochoso não manejado	Áreas em que ocorre a exposição natural de rochas na superfície do solo, sem cobertura vegetal, fora de área protegida.
	Mineração	Áreas destinadas à extração de minérios para o uso comercial, caracterizadas principalmente pela remoção total da vegetação nativa.



Subsetor	Subdivisão conforme particularidades nacionais	Descrição
	Solo exposto	Áreas desprovidas de cobertura vegetal nativa ou exótica, sujeitas à erosão e perda da fertilidade dos solos em função da atuação de agentes abióticos (como lixiviação). Os solos expostos normalmente são originados a partir de atividades como desmatamento e queimadas.
	Áreas não observadas	Áreas que não puderam ser classificadas devido à presença de nuvens e suas sombras, que comprometeram a análise das imagens de satélites disponíveis.

Este subsetor emitiu 8.911 Gg CO₂e em 2016, oriundas somente da categoria Área convertida para Outras Terras (4.F.2), que emitiu 2.481 Gg CO₂e em 2010.

A subcategoria Floresta para Outras Terras (4.F.2.a) teve a maior participação nas emissões líquidas dessa categoria em 2016, correspondente a 94% (8.419 Gg CO₂e). A subcategoria Campo e Pastagem para Outras Terras (4.F.2.c) participou com 5% (470 Gg CO₂e) e a subcategoria Agricultura para Outras Terras (4.F.2.b), com 0,2% (21 Gg CO₂e) (Figura 2.41).

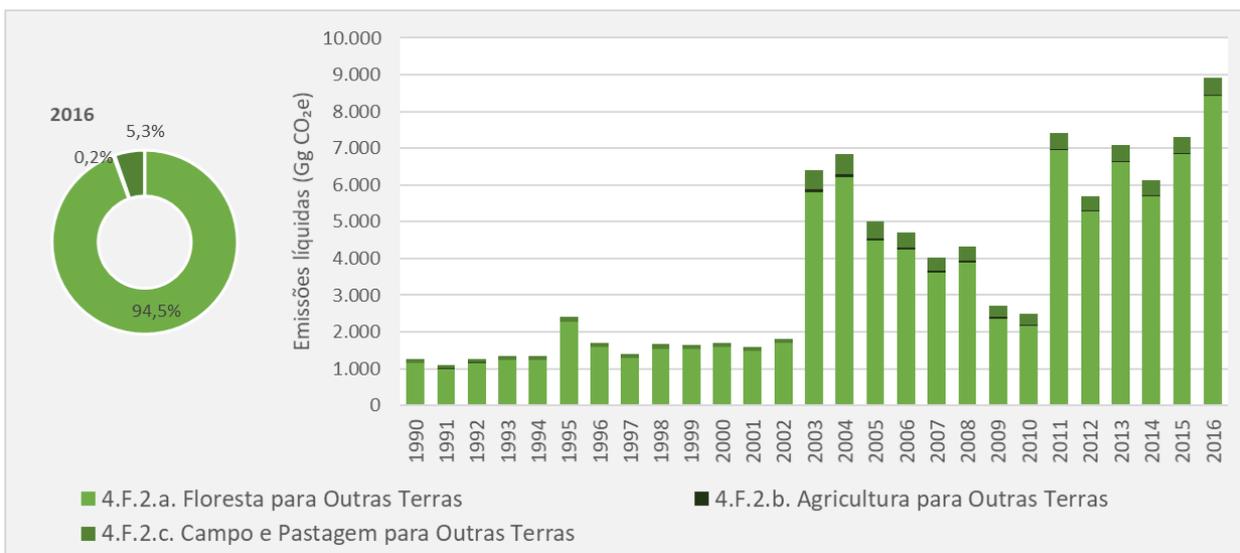


Figura 2.41. Emissões líquidas das subcategorias da categoria Área convertida para Outras Terras (4.F.2) do subsetor Outras Terras (4.F), em CO₂e, de 1990 a 2016



2.6.8 Produtos Florestais Madeireiros (4.G)

O subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G) considera as emissões e remoções de CO₂ oriundas de produtos originários de matéria-prima de florestas plantadas, como madeira maciça, painéis, papel e papelão. As emissões de CO₂ são resultantes da decomposição desses produtos²² (contabilizadas no país consumidor), enquanto as remoções de CO₂ refletem o crescimento dos reforestamentos (contabilizadas no país produtor).

Para 2016, a remoção de CO₂ correspondente à madeira colhida foi de -485.804 Gg CO₂ para florestas plantadas, enquanto a emissão bruta de CO₂ foi de 435.032 Gg CO₂. Com isso o balanço da contribuição dos Produtos Florestais Madeireiros foi de uma remoção líquida de -50.772 Gg CO₂, em 2016 (Figura 2.42).

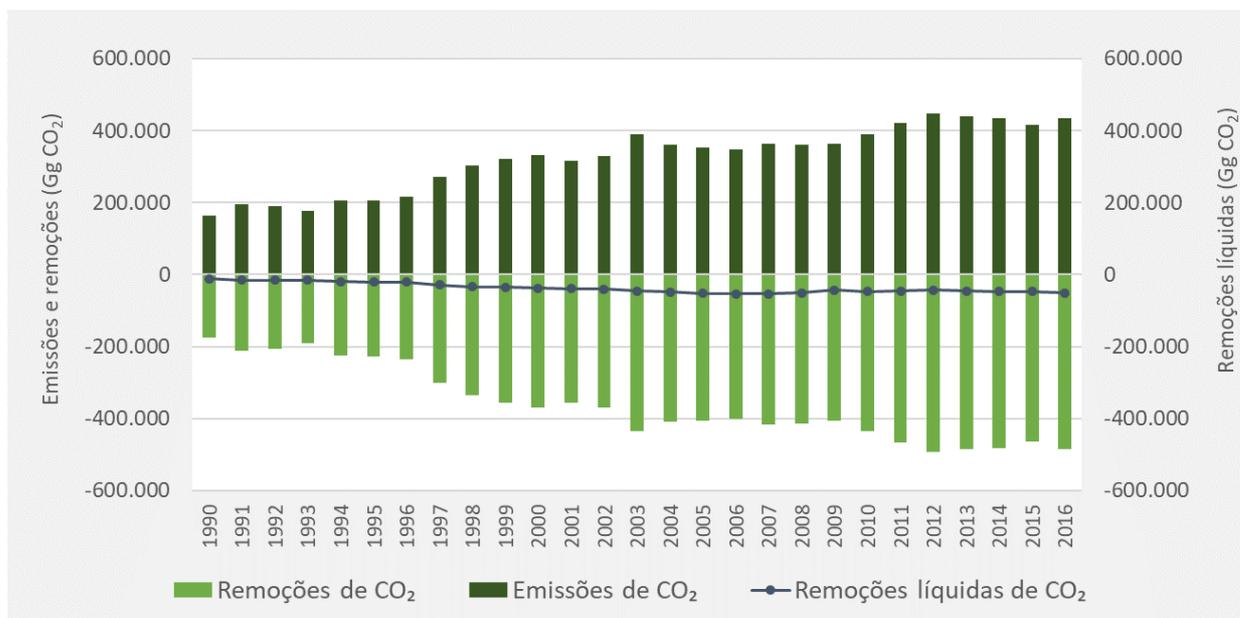


Figura 2.42. Emissões brutas, remoções e remoções líquidas de CO₂ do subsetor Produtos Florestais Madeireiros (4.G), de 1990 a 2016

²² As emissões de gases não-CO₂ associadas ao processo de decomposição é contabilizado no setor Resíduos.

2.7 SETOR RESÍDUOS (5)

O setor Resíduos compreende as emissões pela disposição e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, e contempla as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ de quatro subsetores, conforme a metodologia do IPCC 2006: Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), Tratamento Biológico de Resíduos (5.B), Incineração e Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C) e Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D). As emissões do setor são decorrentes, principalmente, do processo de degradação anaeróbio pela destinação final de resíduos sólidos em aterros sanitários e vazadouros (lixões), bem como do despejo de águas residuárias que passaram ou não por algum processo de tratamento.

As emissões do setor totalizaram 65.954 Gg CO₂e em 2016, com aumento de 16,4%, se comparado com 2010. O

Consulte o **Apêndice** para verificar as tabelas com todos os resultados por gás em unidade de massa, para todos os setores e toda a série histórica (1990 a 2016)

subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) foi o que mais contribuiu com as emissões do setor em 2016, com 39.001 Gg CO₂e ou 59,1% do total. O Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (3.D) emitiu 25.794 Gg CO₂e em 2016 e foi responsável por 39,1% do total do setor. Os outros subsetores contribuíram com uma parcela menor de emissão, como mostra a Figura 2.43.

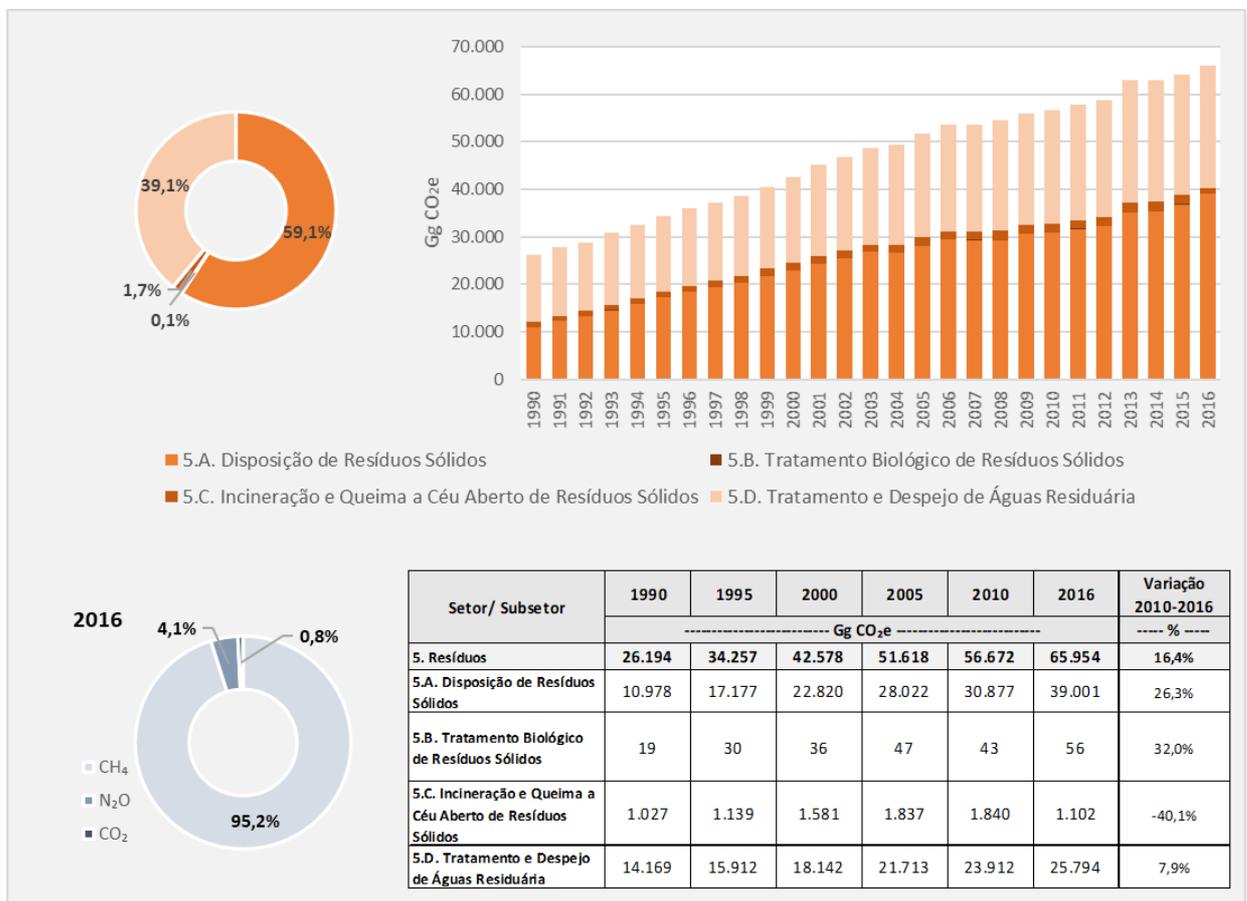


Figura 2.43. Emissões do setor Resíduos, em CO₂e, por subsetor, de 1990 a 2016

Como mostra a Figura 2.43, o principal gás emitido pelo setor foi o CH₄ (95,1%), sendo a Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) a fonte emissora mais significativa, seguida pelo Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D), correspondente a 62,1% e 37,0% do total de emissões de CH₄ do setor, respectivamente. Os gases N₂O e CO₂ representaram parcela menor de emissões em termos de CO₂e (4,1% e 0,8%, respectivamente).



2.7.1 Aspectos metodológicos do setor

As estimativas de emissões foram realizadas a partir da metodologia preconizada no IPCC 2006²³, e foram calculadas com dados nacionais oficiais, como população urbana e rural, geração de resíduo sólido municipal e de serviços de saúde, locais de disposição final de resíduos sólidos, variáveis climáticas dos municípios, composição gravimétrica dos resíduos, rotas ou sistemas de descarga de águas residuárias domésticas e industriais, fração de tratamento de esgoto, tecnologias de tratamento de águas residuárias, produção industrial e carga orgânica por unidade de produto.

O Quadro 2.15 apresenta as metodologias, dados de atividade e parâmetros/fatores utilizados em cada uma das categorias inventariadas. A metodologia *Tier 2* foi utilizada para as categorias mais representativas, com destaque para a Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), que contempla as emissões de Locais Manejados (5.A.1) e Não Categorizados (5.A.3).

Para as emissões pelo Tratamento Biológico de Resíduos (5.B), utilizou-se o *Tier 1* para Compostagem (5.B.1), pois essa categoria foi pouco representativa em termos de emissão.

Para o subsetor Incineração e Queima de Resíduos a Céu Aberto (5.C) utilizou-se a metodologia *Tier 2a* para as emissões de CO₂, e *Tier 1* para os demais gases inventariados. Já para as emissões pelo Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) utilizou-se o *Tier 2* para o CH₄ e *Tier 1* para N₂O.

²³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 5, Waste. (IPCC, 2006).*

Quadro 2.15. Níveis metodológicos aplicados por gás e referências do setor Resíduos

Subsetor	Categoria	Subcategoria	Gases estimados e metodologias						Referências	
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOG	Dados de atividade	Fatores de Emissão
5.A. Disposição de Resíduos Sólidos	5.A.1. Locais Manejados		NA	T2	NA	NA	NA	NA	Dados populacionais: Censo Demográfico (1970; 1980; 1991; 2000; 2010), Estimativas da População (1992 a 1995; 1997 a 1999; 2001 a 2009; 2011 a 2016) e Contagem da População (1996; 2007) (IBGE, 2010; 2015); Lacuna estimada para as décadas de 70 e 80 e 1994, por meio de modelo polinomial de grau 2; CH ₄ recuperado: Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (UNFCCC, 2019).	Dados de População total (urbana e rural) com coleta de resíduo do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento — SNIS (MCID, 2018) e Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística — IBGE (IBGE, 1980; 1983; 2008). Modelo polinomial de grau 2 com base nos dados do IBGE (1980; 1983; 2008) e do SNIS (anos 2003 a 2016; MCID, 2018) de população total atendida com coleta de MSW e a massa coletada; O tipo de aterro em cada município foi obtido a partir da informação da unidade de disposição final de todos os municípios do Brasil (MMA, 2015) e o ano de início de operação dos aterros sanitários (MCID, 2018); Revisão de literatura nacional sobre a composição gravimétrica para cada Unidade Federativa e ano; Volume 3, Capítulo 3 (IPCC, 2006).
	5.A.2. Locais Não Manejados		NA	NO	NA	NA	NA	NA		
	5.A.3. Locais Não Categorizados		NA	T2	NA	NA	NA	NA		



5.B. Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos	5.B.1. Compostagem		NA	T1	T2	NA	NA	NA	Idem às informações do subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A).	Volume 3, Capítulo 4 (IPCC, 2006).
	5.B.2. Digestão Anaeróbia ²⁴		NA	NO	NO	NA	NA	NA		
5.C. Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos	5.C.1. Incineração de Resíduos	5.C.1.a. Biogênico	T2a	NA	T1	NA	NA	NA	Quantidade de resíduos de saúde incinerados obtidos a partir da população dos municípios com coleta e massa coletada (IBGE, 2008). Lacunas supridas a partir da interpolação linear desses dados.	Volume 3, Capítulo 5 (IPCC, 2006).
		5.C.1.b. Não Biogênico	T2a	NA	T1	NA	NA	NA		
	5.C.2. Queima de Resíduos a Céu Aberto		T2a	T1	NA	NA	NA	NA	Dados populacionais do Censo Populacional (1991, 2000 e 2010) (IBGE, 2010) e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios — PNAD (IBGE, 2015) (anos intermediários ao Censo) e lacunas para	Volume 3, Capítulo 5 (IPCC, 2006).

²⁴ A categoria Digestão Anaeróbia (5.B.2) não foi contabilizada, uma vez que esta tecnologia ainda é incipiente no Brasil.



									anos 1994 e 2016 foram estimadas.	
5.D. Tratamento e Despejo de Águas Residuárias	5.D.1. Tratamento e Despejo de Águas Residuárias Domésticas		NA	T2	T1	NA	NA	NA	<p>População urbana das UF foi estimada anualmente por regressão linear bivariada simples entre os intervalos dos censos populacionais (IBGE, 1970; 1980; 1991; 2000; 2010). População rural estimada pela diferença entre total e urbana. Os dados de sistema de tratamento foram obtidos da PNAD (1992 e 1993, 1995 a 1999, 2001 a 2009 e 2011 a 2015) (IBGE, 2015) e do Censo Populacional (1991, 2000 e 2010) (IBGE, 2010). A fração da população atendida com cada tecnologia de tratamento estimada a partir de dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico — PNSB (IBGE, 2008).</p>	<p>Volume 3, Capítulo 6 (IPCC, 2006); Foram classificados os sistemas de tratamento utilizados no Brasil presentes nas PNSB (IBGE, 2008), com interpolação linear simples entre períodos, de acordo com valores <i>default</i> (IPCC, 2006); Dados da FAO (2009) para consumo de proteína, com interpolação linear simples nas lacunas de dados; Quantidade de lodo foi calculado com base nos fatores de geração de DBO de lodo por DBO tratada em cada tecnologia de tratamento encontrados na literatura nacional (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2001); Volume 3, Capítulo 6 (IPCC, 2006).</p>



	5.D.2. Tratamento e Despejo de Águas Residuárias Industriais		NA	T2	NA	NA	NA	NA	<p>Dados de produção industrial: Açúcar e Álcool (UNICA, 2019); Leite cru (IBGE, 2018a); Leite pasteurizado, (ABLV, 2019); Celulose (IBA; 2019); Cerveja, Abate de aves e bovinos (IBGE, 2017b).</p>	<p>Valores de carga orgânica utilizados: Açúcar: 21 e 82 (CTC, 1995; ANA, 2009); Álcool: 146 (ANA, 2009); Celulose:19 (SUHR, 2015); Volume 3, Capítulo 6 (IPCC, 2006); Dados sobre lodo foram calculados com base nos fatores de geração de DBO de lodo por DBO tratada em cada tecnologia de tratamento encontrados na literatura nacional (Andreoli; Von Sperling; Fernandes, 2001).</p>
--	---	--	----	----	----	----	----	----	--	--

Nota: níveis metodológicos IPCC, 2006 — T1:Tier 1; T2: Tier 2; T3: Tier 3.

Notações: NA — não aplicável, pois não há metodologia para estimar as emissões; NO — não ocorre a emissão do gás no país; NE — não estimada.



Conforme IPCC 2006²⁵, a descrição de locais de disposição final indica uma classificação para aterros sanitários (5.A.2 – Locais Manejados), mas não especifica classificação para aterros controlados e vazadouros (lixões). Dessa forma, aterros controlados e vazadouros foram classificados como “Não Categorizados” (5.A.3), uma vez que não existem características suficientes sobre estes locais para possibilitar classificação em qualquer outra categoria.

2.7.2 Disposição de Resíduos Sólidos (5.A)

O subsetor Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) contempla apenas emissões de CH₄ que ocorrem durante a decomposição anaeróbica da matéria orgânica depositada em aterros sanitários (Locais Manejados – 5.A.1), aterros controlados e lixões (Locais Não Categorizados – 5.A.3). As emissões pela disposição de resíduos sólidos variam, principalmente, com a qualidade do local de disposição, o tamanho populacional, a quantidade e a composição gravimétrica do resíduo depositado.

As emissões associadas à Disposição de Resíduos Sólidos (5.A) contabilizaram 39.001 Gg CO₂e em 2016, um aumento de 26,3% se comparadas com 2010 (Figura 2.44). A disposição de resíduos em Locais Manejados (5.A.1) representou 47,1% em 2016, e teve um aumento de 43%, se comparado com as emissões de 2010. Tal fato se deve ao aumento da população atendida com coleta de resíduos e ao aumento do envio desses resíduos para aterros sanitários (média de 35% em 1990 para 51% em 2016), cuja capacidade de geração de CH₄ é maior que em aterros controlados e lixões. Já as emissões em Locais Não Categorizados (5.A.3) representou 52,9% e apresentou aumento de 14,2%, em comparação com as emissões de 2010. Em termos qualitativos de composição gravimétrica, “restos de alimentos” e “papel e papelão” foram os principais componentes na geração de CH₄ pela disposição dos resíduos sólidos municipais em aterros e lixões, respondendo por 60,6% e 32,4% do total de emissão gerado, respectivamente.

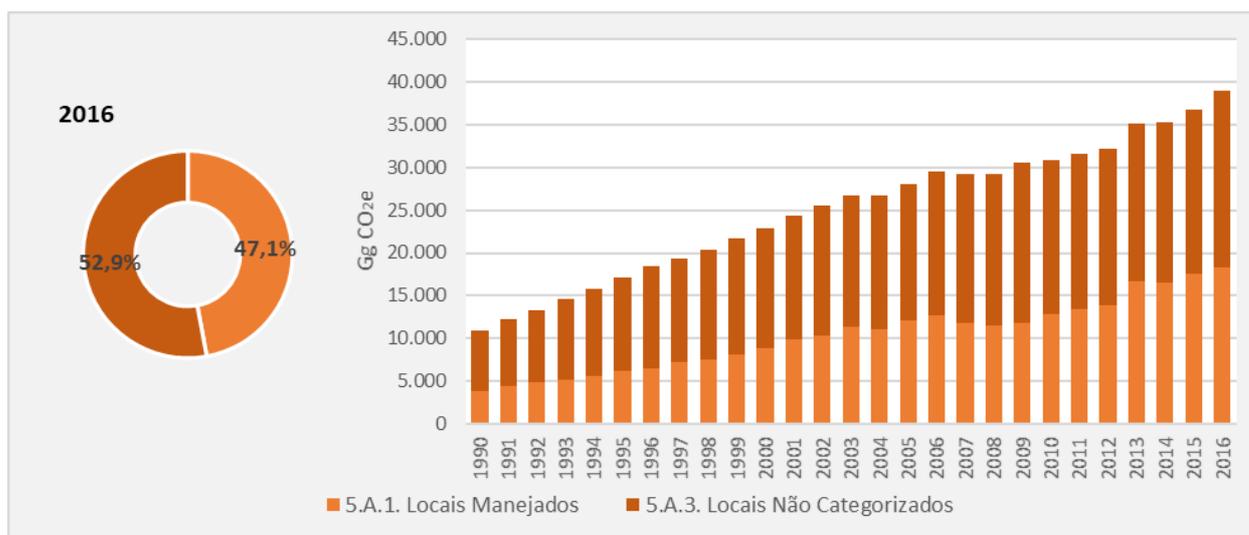


Figura 2.44. Emissões da Disposição de Resíduos Sólidos (5.A), em CO₂e, por categoria de emissão, de 1990 a 2016

As estimativas de CH₄ já consideraram a redução das emissões devido à recuperação e queima desse gás em aterros sanitários, o que contribuiu com uma diminuição de 7,3% do total de emissões do subsetor em 2016. O CH₄ recuperado foi contabilizado a partir dos resultados apresentados pelos projetos de MDL registrados na UNFCCC. Essa recuperação de CH₄ começou a ocorrer em 2003, ano em que o primeiro projeto foi submetido e aprovado.

²⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Vol. 5, Waste, chapter 3, Tab 3.1 (IPCC, 2006).



2.7.3 Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B)

O subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B)²⁶ contabilizou as emissões de CH₄ e N₂O associadas à Compostagem (5.B.1). A compostagem é um processo aeróbio, e sua emissão está relacionada com a quantidade, o tipo e a composição do resíduo orgânico depositado. As emissões referentes à compostagem de resíduos sólidos urbanos foram estimadas em 56 Gg CO₂e em 2016, que refletiu em um incremento de 32% se comparado com 2010 (Figura 2.45), e se deve, principalmente, pelo aumento da compostagem de resíduos sólidos orgânicos no Brasil nesse período. As emissões de CH₄ e N₂O representaram 53% e 47% do total de CO₂e em 2016, respectivamente.

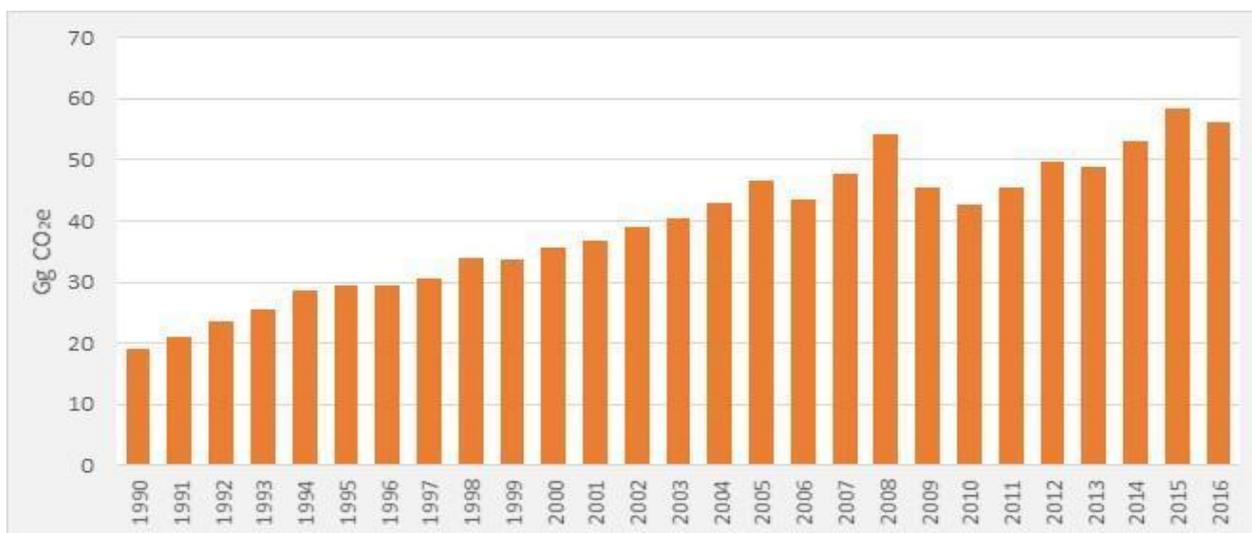


Figura 2.45. Emissões pelo Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B), em CO₂e, de 1990 a 2016

2.7.4 Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C)

O subsetor Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos (5.C) compreende as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ decorrentes do processo de combustão de resíduo de forma controlada ou não. No caso da queima a céu aberto, a combustão de carbono fóssil, substância presente principalmente em embalagens plásticas, é responsável pela emissão de CO₂ para a atmosfera e, por ser uma combustão realizada em ambiente não controlado, emite uma pequena fração do carbono na forma de CH₄ devido à ineficiência na aeração.

As emissões do subsetor contabilizaram 1.102 Gg CO₂e em 2016 (Figura 2.46), e foram provenientes, em sua maioria, da categoria Queima a Céu Aberto de Resíduos (5.C.2) (89%). Houve diminuição de 40% das emissões, se comparadas com 2010, devido, principalmente, ao aumento da reciclagem do plástico nesse período, o que possibilitou um menor incremento no carbono fóssil queimado.

As emissões pela Incineração de Resíduos (5.C.1), totalizaram 120 Gg CO₂e em 2016, ou 11% do subsetor. Nessa categoria foram consideradas as emissões pela incineração de resíduos de serviços de saúde, que ocorre com vistas a cumprir a legislação ambiental nacional. As emissões pela categoria Queima a Céu Aberto de Resíduos (5.C.2) totalizaram 982 Gg CO₂e. No Brasil, a prática de queima de resíduos a céu aberto ainda é muito utilizada, principalmente pela população que não é atendida pelo sistema de coleta seletiva de lixo. Em 2016, as emissões de CH₄, N₂O e CO₂ do subsetor representaram 44%, 10% e 46%, respectivamente.

²⁶ Para essa edição do Inventário, houve inclusão do subsetor Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos (5.B), devido a implementação do IPCC 2006.

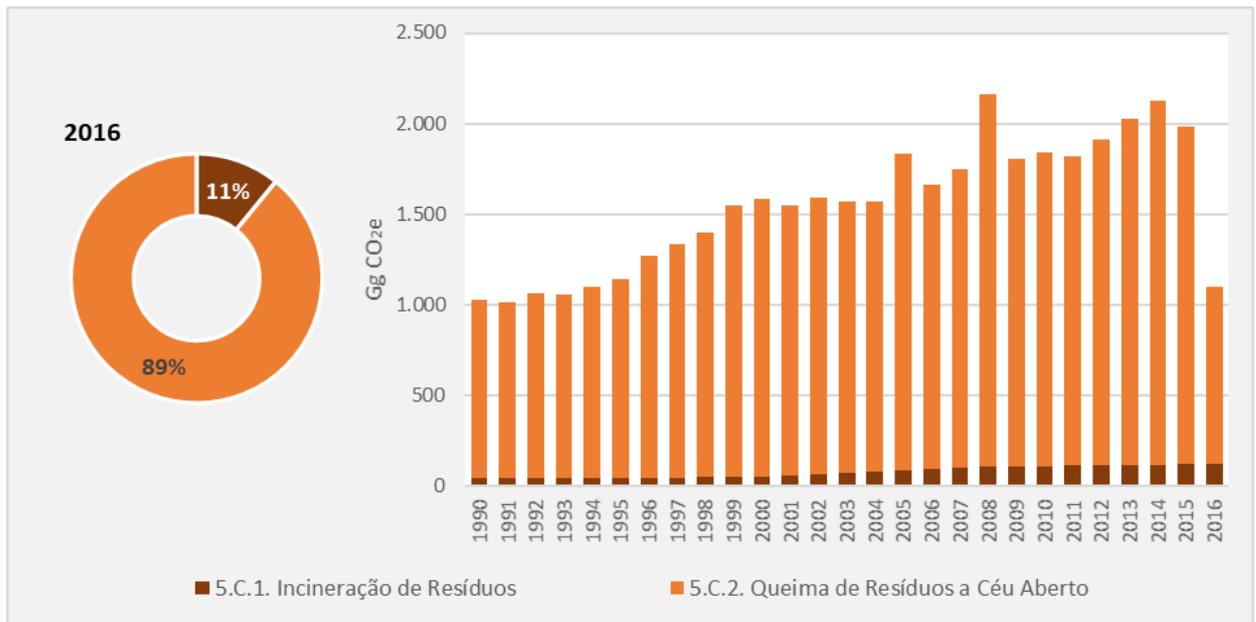


Figura 2.46. Emissões pela Incineração e Queima de Resíduos Sólidos (5.C), em CO₂e, por categoria de emissão, de 1990 a 2016

2.7.5 Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D)

O subsetor Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) contabiliza as emissões de CH₄ e N₂O dos sistemas de Águas Residuárias Domésticas (5.D.1) e Águas Residuárias Industriais (5.D.2). As emissões de CH₄ ocorrem em ambientes anaeróbios e estão relacionadas com a quantidade de material orgânico degradável presente no efluente, bem como a temperatura do local e o tipo de tratamento utilizado. Já as emissões de N₂O estão associadas com a degradação do nitrogênio presente no efluente, por meio do processo de nitrificação e desnitrificação.

As emissões pelo Tratamento e Despejo de Águas Residuárias (5.D) foram estimadas em 25.794 Gg CO₂e em 2016, com aumento de 7,9% se comparado com 2010. A categoria Águas Residuárias Domésticas (5.D.1) foi a mais representativa, com emissão de 21.397 Gg CO₂e, ou 83% das emissões do subsetor (Figura 2.47). Essas emissões tiveram aumento de 4,6% se comparado com os resultados de 2010, e têm relação direta com o crescimento populacional, ampliação da rede de coleta e tratamento dos esgotos nos estados e municípios e a matéria orgânica presente no efluente, expressa como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), uma vez que essas são as principais variáveis que as influenciam.

Para a categoria Águas Residuárias Industriais (5.D.2), as emissões em 2016 foram estimadas em 4.398 Gg CO₂e (17% do subsetor), com aumento de 27% se comparadas com 2010. É válido destacar que a atividade de produção de leite cru e pasteurizado correspondeu por mais da metade das emissões dessa categoria até 2003, quando a contribuição da atividade de abate animal (aves, suínos e, principalmente, bovinos) passou a ser a mais representativa.

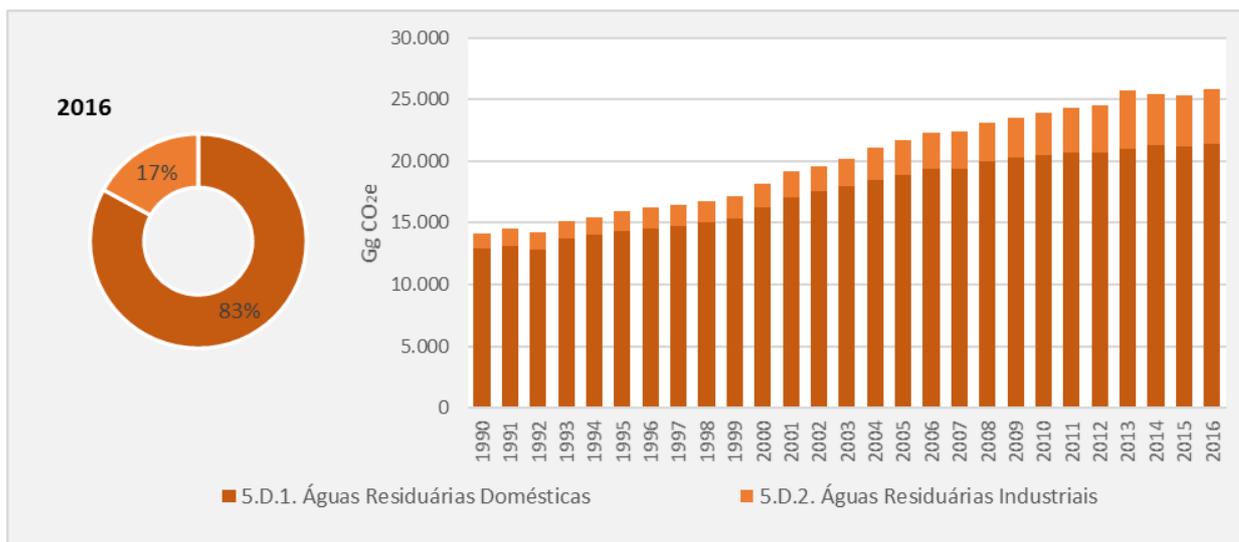


Figura 2.47. Emissões pelo Tratamento e Despejo de Águas Residuária (5.D), em CO₂e, por categoria de emissão, de 1990 a 2016