



Sistema de Estimativa de Emissão
de Gases de **Efeito Estufa**

Nota Metodológica
SEEG 8
Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas

(Versão 2)

Coordenação técnica:
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)

Equipe responsável:

Barbara Zimbres
Julia Shimbo
Ane Alencar
Amintas Brandão Jr.
Vera Arruda
Felipe Lenti
Carlos Souza Jr.
Tasso Azevedo

Fevereiro, 2021

Sumário

1. Introdução	2
1.1. Escopo do setor	2
1.2. Descrição dos biomas.....	3
1.3. Processos contabilizados nas emissões e remoções	6
2. Método de Cálculo.....	9
2.1. Equações de cálculo - IPCC.....	9
2.1.1 Mudança de uso da terra.....	9
2.1.2. Queima de resíduos.....	11
2.2. SEEG 8: abordagem para calcular as emissões	11
2.2.1. Máscaras de desmatamento e regeneração.....	12
2.2.2. Estabilização das coberturas anuais.....	13
2.2.3. Geração das transições ano a ano	15
2.2.4. Cálculo zonal das áreas das transições	15
2.2.5. Aplicação dos fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição.....	15
2.2.6. Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento	29
2.3. Cálculo das emissões com base em carbono equivalente (CO₂e)	29
3. Quadro de Qualidade dos Dados	30
4. Diferenças para o Inventário Nacional e Estimativas de Emissões Oficiais	33
5. Resultados.....	34
5.1. Emissões por alterações de uso da terra	35
5.2. Emissões por queima de resíduos florestais.....	37
5.3. Remoções em áreas protegidas	39
5.4. Remoções por vegetação secundária.....	42
5.5. Remoções por outras mudanças de uso da terra.....	44
6. Referências	46
Anexo 1 - Método proxy de desmatamento por fontes oficiais para cálculo das emissões	49
1. Emissões brutas por desmatamento	49
3. Remoções	54
Anexo 2 - Desafios para cálculo das emissões de queimadas não associadas ao desmatamento	68
Anexo 3 - SEEG municípios: método para a contabilização das emissões e remoções a nível de municípios.....	81

1. Introdução

Neste documento apresentamos os procedimentos metodológicos da oitava versão do SEEG para calcular as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil para o setor de mudança de uso da terra e florestas, no período de 1990 a 2019. O cálculo das estimativas de emissões foi baseado na série temporal mais completa de mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomias¹ Coleção 5.0 (<http://mapbiomas.org/>) e nos métodos e fatores publicados no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2016) associado à proposta metodológica do IPCC (2003; 2006). As estimativas das emissões de queima de resíduos florestais foram calculadas de acordo com a área de desmatamento e com a aplicação dos fatores de cálculo segundo o Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016). As estimativas de emissões de aplicação de calcário nos solos (calagem) anteriormente contabilizada no setor MUT agora foram incorporadas no setor de Agropecuária.

Pela primeira vez, após dois anos de testes e versões preliminares (betas), o SEEG adotou o uso das matrizes de transição de mudanças de uso da terra geradas com base nos dados da Coleção 5 do MapBiomias para as estimativas de emissão e remoção no Brasil no setor MUT. As estimativas com base nos dados oficiais de desmatamento, em que o SEEG consistia nas versões anteriores, também foram calculadas e atualizadas até o ano de 2019. Essas estimativas estão disponibilizadas no Anexo 1 como alternativa para acompanhar o método adotado nas atualizações anuais do SIRENE (Sistema Nacional de Registro de Emissões).

Assim como nas versões anteriores, as estimativas são disponibilizadas por estado e por bioma no Brasil. Também foram atualizadas as estimativas das emissões brutas de queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil, no período de 2000 a 2019 (Anexo 2).

Por fim, apresentamos o SEEG Municípios com as adaptações de cálculos e os resultados das estimativas de emissões de MUT para o nível de municípios brasileiros (Anexo 3). A partir da próxima versão do SEEG, o objetivo é que todas as estimativas do setor MUT sejam disponibilizadas nesse nível espacial de detalhamento também.

1.1. Escopo do setor

O setor de mudança do uso da terra e florestas reporta as emissões brutas e líquidas de GEE relacionadas aos processos de mudanças dos estoques de biomassa e matéria orgânica existentes acima e abaixo do solo, além de emissões por queima de resíduos florestais.

¹ O MapBiomias é um projeto de mapeamento anual da cobertura e uso da terra do Brasil, que envolve uma rede colaborativa de instituições locais como universidades, ONGs e empresas de tecnologia. É uma iniciativa do SEEG e Observatório do Clima que utiliza imagens Landsat, processamento em nuvem e classificadores automatizados na plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil desde 1985 até o presente.

Para gerar as estimativas do setor são necessárias duas informações principais: mapas de cobertura e uso da terra e informações sobre o estoque e incremento de carbono por classe de vegetação e uso. Na ausência de mapas anuais oficiais e atualizados de cobertura e uso da terra dos Inventários Nacionais, o SEEG utilizou dados anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomias Coleção 5.0 para cálculo das áreas de transição e suas respectivas estimativas de emissões ou remoções de GEE. Os mapas anuais de cobertura e uso da terra utilizados abrangem todo o Brasil e são produzidos a partir de imagens de satélite Landsat (com 30 m de resolução espacial) para o período de 1985 a 2019. Esses mapas são utilizados no cálculo das áreas de mudança (transição) entre as categorias de cobertura e uso da terra.

Os dados de estoque e incrementos de carbono são gerados com base em amostras de campo (na maioria dos casos), em dados disponíveis na literatura e/ou em imagens de sensores remotos. É com base nessas estimativas de estoque e incremento de carbono por tipo de classe de cobertura e uso da terra que são aplicadas equações que convertem a área (extensão) de mudança de uso e cobertura da terra em emissões de GEE. O Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016) publicou esses dados de estoque e incrementos de carbono por tipo de classe de cobertura e uso da terra nos quais foram adaptados ao método do SEEG 8.

1.2. Descrição dos biomas

O Brasil é coberto por seis biomas (Figura 1). Além das diferenças biogeográficas que definem estes biomas, há condições específicas quanto aos tipos de vegetação, solos, condições climáticas e pressão humana. Essas características influenciam os estoques de carbono existentes e, conseqüentemente, a contribuição de cada bioma para as emissões do país. Por exemplo, o bioma Amazônia apresenta florestas com alta densidade de carbono em regiões com alta pressão por desmatamento. Isso aumenta a representatividade das emissões desse bioma em relação aos demais biomas brasileiros (Bustamante et al., 2018). O Cerrado também contribui criticamente, dada a continuidade da tendência de conversão de áreas extensas de vegetação nativa para produção agrícola e pecuária, acelerada nas últimas duas décadas (Alencar et al., 2020).



Figura 1. Limite e representatividade dos biomas brasileiros, em área (milhões de km²) e proporção da área do território Nacional.

Os maiores biomas brasileiros são a Amazônia (50% da extensão do país), o Cerrado (23%) e a Mata Atlântica (13%). Os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal cobrem os 14% restantes do território nacional (Figura 1).

- **Amazônia** (4,22 milhões de km², 50% do território nacional). Concentrando uma vasta biodiversidade, o bioma Amazônia abrange nove estados brasileiros e, com o predomínio de formações florestais, contém o maior estoque de carbono florestal do Brasil (MCTI, 2016). O mapeamento do desmatamento, realizado pelo INPE no Projeto Prodes, contabilizou até 2019 mais de 709 mil km² de desmatamento no bioma Amazônia (aprox. 17% da área do bioma) associados a pressões da agricultura e pecuária. As taxas de desmatamento estão em uma tendência crescente desde 2018, com um salto no desmatamento em 2019 de 10.665 km² (3.700 km² a mais que em 2018, segundo Prodes/INPE).

- **Cerrado** (1,98 milhões de km², 23% do território brasileiro). Localizado na região central do Brasil, o Cerrado é o segundo maior bioma do país. Nele estão localizadas as três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata). Além disso, essa região é considerada a savana com mais biodiversidade no mundo (MMA, 2013). Apresenta um mosaico de vegetação desde florestal, savânica a campestre com mais de 11 mil espécies de plantas nativas já foram catalogadas nessa área, além de inúmeras espécies de mamíferos, peixes, répteis e anfíbios. Apesar de sua importância, o Cerrado vem sofrendo várias pressões humanas, relacionadas principalmente à agricultura e pecuária. O bioma já perdeu cerca de 47% da área originalmente vegetada (Alencar et al., 2020), mas, segundo o Prodes Cerrado (INPE), houve uma queda na taxa de desmatamento de cerca de 10% entre 2017 e 2018 (7.312 km² e 6.634 km², respectivamente), permanecendo praticamente constante entre 2018 e 2019 (6.483 km² nesse último ano).
- **Mata Atlântica** (1,11 milhão de km², 13% do território brasileiro). O terceiro maior bioma brasileiro possui somente 12,4% de sua cobertura de floresta original (SOS Mata Atlântica/INPE). O desmatamento da Mata Atlântica entre 2017 e 2018 (taxa anual de 114 km²) caiu 9,3% em relação ao período anterior (2016-2017, com taxa anual de 126 km²). No entanto, no período de 2018-2019 foi observado um crescimento de 27% (145 km²) na taxa de desmatamento com relação ao período anterior. O bioma Mata Atlântica é de extrema prioridade para a conservação da biodiversidade, com milhares de espécies endêmicas já catalogadas. Mais de 120 milhões de pessoas vivem nesse bioma, que também concentra 70% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. A pressão humana está associada à ampliação de infraestrutura e a processos industriais.
- **Caatinga** (863 mil km²). Representando 11% do território nacional, a Caatinga possui uma grande riqueza em biodiversidade apesar do clima semiárido. Ali vivem 27 milhões de pessoas (MMA, 2013). A pressão humana sobre o bioma está associada a atividades agrossilvopastoris e industriais. Até 2019, aproximadamente 62% da sua área encontrava-se coberta com vegetação nativa (MapBiomas Coleção 5.0).
- **Pampa** (194 mil km²). Este bioma representa 2% da área brasileira. Restrito ao Rio Grande do Sul no Brasil, representa 63% da área do estado (MMA, 2013). Constituído principalmente de vegetação campestre, possui grande importância para a biodiversidade associada à fauna. Em relação à pressão humana, a pecuária extensiva e a soja, têm sido as principais atividades da região. Aproximadamente 45% do bioma Pampa no território brasileiro está coberto com vegetação nativa (MapBiomas Coleção 5.0).
- **Pantanal** (151 mil km², cerca de 2% do território nacional). A maior planície alagada do planeta encontra-se no Pantanal. É o bioma mais preservado do país, mantendo 84% da sua cobertura de vegetação nativa (MapBiomas Coleção 5.0). Essa região é considerada o berçário de várias espécies e abriga em abundância espécies consideradas ameaçadas em outros biomas. A pressão humana predominante é a agropecuária (especialmente na região do Planalto).

1.3. Processos contabilizados nas emissões e remoções

Os processos que geram emissões no setor de mudanças de uso da terra e florestas (Tabela 1) são:

i. **Mudança de Uso da Terra.** As emissões ocorrem quando é alterada a cobertura para um uso da terra de menor estoque de carbono por hectare (IPCC, 2003). Por exemplo, a conversão de floresta para pastagem ou agricultura gera emissões de CO₂ pela perda de estoques de carbono na retirada da floresta e sua queima. De forma semelhante, pode haver sequestro de CO₂ da atmosfera quando acontece a conversão para um tipo de uso com maior estoque de carbono por hectare (uma pastagem convertida em floresta secundária, por exemplo).

ii. **Queima de Resíduos Florestais.** Emissões por queima de biomassa florestal para lenha ou para uso madeireiro também geram emissões de outros GEEs não CO₂, como N₂O e CH₄ (esses gases possuem mais capacidade de acelerar o efeito estufa do que o dióxido de carbono). Tais emissões também foram contabilizadas nessa estimativa.

Tabela 1: Fontes de emissão de gases de efeito estufa contabilizados no setor mudança de uso da terra e florestas.

Fonte de Emissão	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC _s	CF ₄	C ₂ F ₆	SF ₆	NO _x	CO	NMVOC
Transição de uso da terra										
Queima de resíduos										

Além dos processos que geram emissões, são contabilizadas as remoções de CO₂ da atmosfera oriundas das alterações de cobertura e uso da terra, entre eles:

i. **Em florestas e campos manejados em áreas protegidas.** Segundo o Terceiro Inventário (MCTI, 2016), no Brasil, as Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) (Figura 2), são consideradas como áreas manejadas, portanto suas remoções de carbono pela vegetação nativa são de natureza antrópicas e devem ser contabilizadas nas emissões. Essas remoções ocorrem durante a fotossíntese, pela fixação de carbono (C) e liberação de oxigênio (O₂) (IPCC, 2003). O cálculo das remoções de carbono por UCs e TIs está de acordo com a metodologia do IPCC, por se tratarem de florestas e campos manejados (MCTI, 2016). Não foram incluídas outras fontes de remoções em florestas remanescentes em áreas privadas ou terras públicas fora de UCs e TIs.

Existem ressalvas com relação às estimativas de remoções realizadas por vegetação florestal nativa primária em áreas manejadas, com diversos trabalhos indicando um estado de equilíbrio dinâmico no estoque de carbono nessas áreas (Box 1). Nesse caso, é possível que o método calculado aqui, indicado pela metodologia do IPCC, superestime a captura de carbono e o papel

das florestas e campos manejados para mitigar a perda de estoques de carbono por mudanças de uso da terra.

Box 1. Remoção de carbono por vegetação florestal primária em áreas protegidas

A noção de que florestas tropicais maduras capturam carbono continuamente, e que essa captura tem aumentado nas últimas décadas é amplamente discutida (Brienen et al., 2015). No entanto, estudos indicam que as remoções associadas à vegetação florestal primária são superestimadas (Wright et al., 2013, Brando et al., 2019), e que essas remoções devem ser, em balanço, nulas (Fearnside 1996, Vieira 2004, Pyle et al., 2008, Malhi et al., 2015, Brando et al., 2019) ou menores que em florestas secundárias, por exemplo, em cerca de 11 a 20 vezes menores (Poorter et al., 2016, Bongers et al., 2016).

O balanço final necessariamente leva em consideração processos a nível de indivíduo e a nível de ecossistema. Um equilíbrio dinâmico no ciclo de carbono em vegetações tropicais se dá por diversos processos. Balanços entre produção primária bruta, produção primária líquida e tempo de residência, são fatores que explicam variações de biomassa a nível de indivíduo; já a nível de ecossistema, é necessário levar em consideração mortalidade e recrutamento (Malhi et al., 2015). Em resumo, o balanço entre fotossíntese e respiração (produção primária líquida) e mortalidade define se uma vegetação sequestra (remove) significativamente carbono atmosférico ou não (Brando et al., 2019), e há argumentos para se supor que florestas maduras, sem sinais de distúrbio, tendem a um balanço nulo, ou quase (Fearnside 1996).

A maior parte dos estudos sobre ciclo de energia e carbono no Brasil foi conduzida nas florestas tropicais da Amazônia. Resultados para esse bioma são variáveis, com estimativas de remoção de carbono com taxas de 10 a 14 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ (Malhi et al., 2009, Nunes et al., 2012, Berenguer et al., 2018). No entanto, esses trabalhos não mencionam se as áreas de estudo têm algum indício de perturbação, e além disso, esses valores não são balanços a nível de ecossistema, e sim medidas de indivíduos arbóreos. No caso de trabalhos que mencionam o saldo final a nível de comunidade e ecossistema e descrevem as áreas de estudo em termos de uma vegetação madura ou perturbada, alguns mencionam balanços nulos até taxas muito baixas, entre 0,2 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ e 0,43 tC.ha⁻¹.ano⁻¹, em áreas consideradas maduras (Baker et al., 2004, Vieira et al., 2004, Nogueira et al., 2008, Pyle et al., 2008). O valor final considerado pelo Terceiro Inventário (MCTI, 2016) para a Amazônia é de 0,43 tC.ha⁻¹.ano⁻¹.

Em outros biomas, como o Cerrado e a Mata Atlântica, existem escassos trabalhos sobre incremento anual da biomassa (por exemplo, Rocha et al., 2002 e Miranda 2012, no Cerrado; Scaranello 2010, na Mata Atlântica). O próprio Terceiro Inventário utilizou esses trabalhos para a estimativa de remoções de carbono em vegetação florestal primária e associa esses valores a outros biomas vizinhos onde não há informação específica (0,2 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ no Cerrado e no Pantanal; 0,1 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ na Caatinga; e 0,32 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ na Mata Atlântica e no Pampa).

Além das baixas taxas de remoção de carbono em florestas primárias, o papel dessas florestas como sequestradoras de carbono pode ainda estar sendo diminuído, por conta do aumento da estação seca com as mudanças climáticas (Brienen et al., 2015, Brando et al., 2019). Outra causa possível para essa diminuição das taxas de sequestro de carbono por florestas maduras

é a degradação inconspícua dessas florestas pela proliferação da fragmentação no bioma Amazônia, que produz ambientes de borda e aumenta a incidência de incêndios florestais (Silva Junior et al., 2020). Em condições mais secas, que caracteriza os ambientes de borda, com maior incidência do fogo e afetados pelas mudanças no clima, é observado um aumento na mortalidade das árvores, o que pode afetar o balanço de carbono a nível ecossistêmico nessas florestas (Brienen et al., 2015, Brando et al., 2019).

Os padrões resultantes dos cálculos do SEEG, de um incremento significativo nas remoções em Áreas Protegidas (ver Resultados), não se dá portanto por uma alta taxa de incremento em vegetação primária nessas áreas, e sim pelo artefato do método de consideração de remoções em Florestas e Campos Manejados (FM e GM, respectivamente), proposta pelo IPCC (2006). À medida que se aumenta o número de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, mais área é incluída como FM ou GM. Fazemos então a ressalva de que esse critério de cálculo tende a sugerir erroneamente que florestas maduras podem ter um papel desproporcionalmente grande no balanço de gases de efeito estufa pelo setor MUT. Os padrões e resultados dessa categoria de remoções devem, portanto, ser vistos e interpretados com precaução.

ii. **Em vegetação secundária.** São contabilizadas as remoções em áreas de vegetação secundária (florestas e campos secundários), conforme o Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016).

iii. **Alterações de uso da terra.** São contabilizadas as remoções associadas a mudanças de uso da terra com incremento de carbono em relação a cobertura e uso da terra anterior; por exemplo, as transições de vegetação secundária; agricultura e pastagem para reflorestamento.

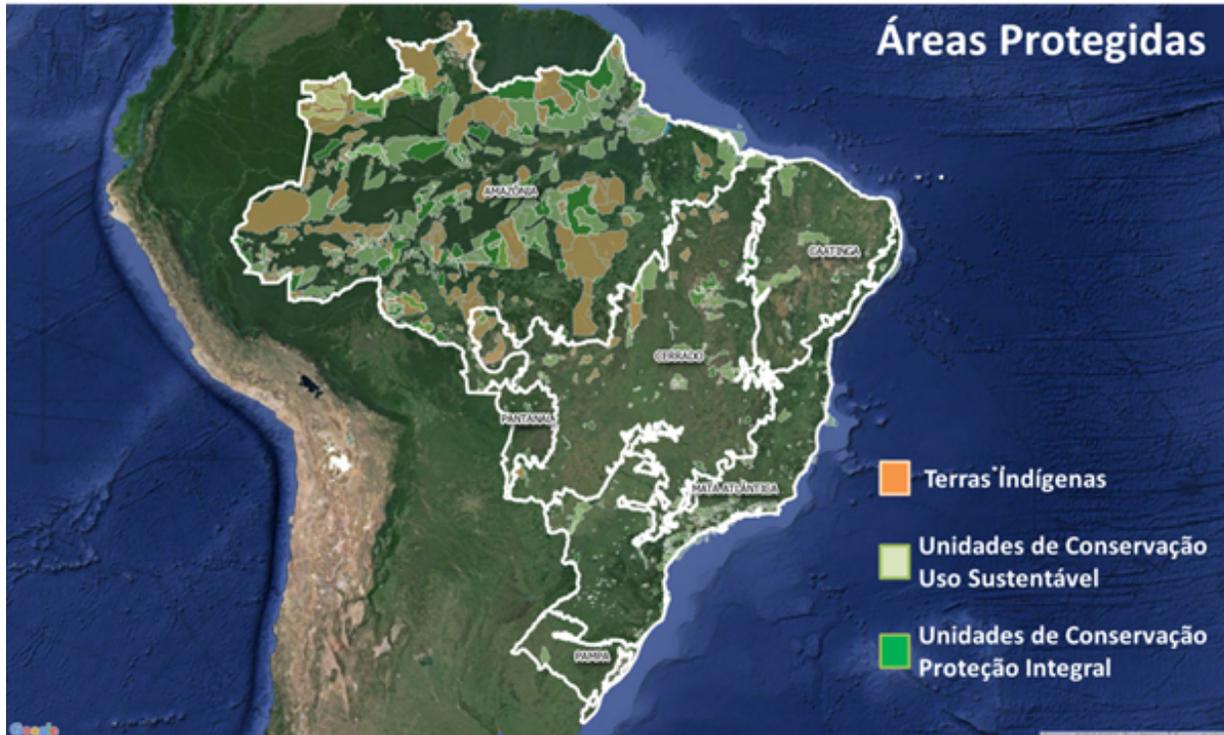


Figura 2. Áreas Protegidas (Terras Indígenas e Unidades de Conservação) no Brasil utilizadas para calcular as remoções em florestas e campos manejados, compiladas e atualizadas com base nas bases do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio (2019).

2. Método de Cálculo

2.1. Equações de cálculo - IPCC

2.1.1 Mudança de uso da terra

O Guia de Boas Práticas do IPCC (2003), e adotado pelo Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016), calcula as emissões por mudança do uso da terra usando duas abordagens, dependendo do tipo de transição de uso. No “método de incrementos e perdas” são considerados valores médios de mudança de estoques de carbono por unidade de área da transição.

Dessa forma, as emissões totais são calculadas pela soma das emissões e remoções de carbono:

$$\Delta C = \sum_{ijk} A_{ijk} \times (C_I - C_L)_{ijk}$$

Onde:

C : Mudanças no estoque de carbono, em toneladas por hectare.

C_I, C_L : Incrementos e perdas anuais de carbono, em toneladas por hectare/ano.

A : Área de terra, em hectares.

ijk : Índices que correspondem ao tipo de clima (i), tipo de vegetação (j), e prática de manejo (k).

No “método das duas medições de estoques de carbono” as emissões são calculadas considerando os valores dos estoques médios de carbono no início e no final do período do inventário, e são dadas por:

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_{t2} - C_{t1}) / (t2 - t1)$$

Onde:

ΔC : Mudanças no estoque de carbono em toneladas por hectare.

C_{t1}, C_{t2} : Estoques de carbono do reservatório nos tempos no início e final do período considerado.

$t2 t1$: Ano de início e fim do período considerado.

As remoções por florestas e campos manejados (Unidades de Conservação e Terras Indígenas, Figura 2), bem como por vegetações secundárias e outras alterações de uso da terra, são calculadas usando a equação do “método dos incrementos e perdas” ou pelo “método das duas medições de carbono”, dependendo dos dados disponíveis. Dessa forma, as remoções utilizam as mesmas equações apresentadas, sendo as remoções equivalentes a emissões negativas de CO_2 .

Para estimativa das mudanças nos estoques de carbono do solo, o IPCC usa estimativas baseadas em dados gerais sobre perda dos estoques de carbono do solo durante 20 anos.

$$ES_i = A_i \times CSolo \times (fc(t_0) - fc(t_f)) \times (T/2)/20$$

Onde:

ES_i : Mudanças nos estoques de C do solo no polígono i.

A_i : Área de mudança do polígono i.

$CSolo$: Estoque médio de carbono do solo.

$fc(t_0), fc(t_1)$: Fatores de mudança de carbono do solo.

T : Intervalo de tempo em anos.

Na equação, cada $fc = f_{LU} + f_{MG} + f_I$ onde f_{LU}, f_{MG} e f_I são fatores de alteração nos estoques de carbono do solo pelo uso da terra, pelo regime de manejo e pelas adições referentes à transição, respectivamente. Os valores de f_{LU}, f_{MG} e f_I estão disponíveis no relatório para cada uma das transições consideradas.

No entanto, como não temos acesso ao mapa de carbono do solo gerado pela Terceira Comunicação Nacional, o setor MUT não calcula e não considera emissões de carbono de solo associadas às transições mensuradas.

2.1.2. Queima de resíduos

A metodologia do IPCC (2003) usa as seguintes equações para estimar as emissões de N₂O e CH₄ por queima de biomassa florestal:

$$CH_4 = (\text{carbono emitido}) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{16}{12}$$

$$N_2O = (\text{carbono emitido}) \times (\text{razão entre N/C}) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{44}{28}$$

2.2. SEEG 8: abordagem para calcular as emissões

A partir dessa versão do SEEG MUT, o método para estimar as emissões e as remoções associadas às mudanças de uso da terra utiliza os dados das transições anuais de uso da terra observadas no projeto MapBiomass. Nesta abordagem, apresentada como versão beta pela primeira vez no SEEG 6, os mapas anuais de cobertura de uso da terra passam por passos de estabilização e filtragem para consolidar as transições principais que ocorrem a cada ano, para depois aplicar os cálculos baseados em estoques e incrementos apresentados no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015). No SEEG 8, a Coleção 5.0 do MapBiomass foi utilizada, que cobre o período de 1985-2019, e resulta em um período para o SEEG de 1990-2019.

O passo-a-passo geral para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra e tratamento dos mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomass são descritos nos itens a seguir (Figura 3). Os quatro primeiros passos, referentes ao trabalho espacial, foram feitos na plataforma Google Earth Engine, e o último passo, referente à aplicação das equações de cálculo de emissão e remoção por área de transição, foi feito no programa R.

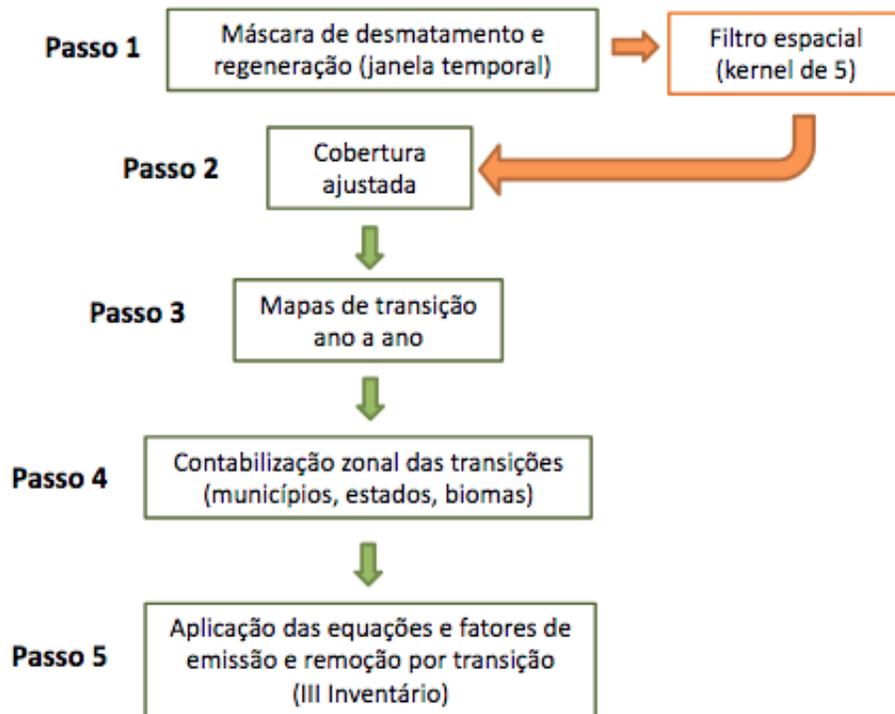


Figura 3. Etapas para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra utilizando os mapas anuais de cobertura e uso da terra da Coleção 5.0 do MapBiomass no SEEG 8 MUT.

2.2.1. Máscaras de desmatamento e regeneração

O primeiro passo para os cálculos do SEEG MUT é gerar máscaras de desmatamento e regeneração anuais que incluem apenas as transições consistentes com estes processos. Dessa forma, transições espúrias, resultantes de erros de classificação, são minimizadas.

A construção dessas máscaras envolve, primeiramente, a reclassificação das classes de cobertura e uso da terra do MapBiomass em duas categorias de interesse (vegetação natural e uso antrópico). Com relação ao nível 3 da legenda da Coleção 5.0 do MapBiomass (https://mapbiomas.org/downloads_codigos), essas duas classes incluem:

- Vegetação Natural: Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12) e Outra Formação Natural não Florestal (13).
- Uso antrópico: Floresta Plantada (9), Pastagem (15), Cultura Semi-Perene ou Plantio de Cana-de-açúcar (20), Mosaico de Agricultura e Pastagem (21), Infraestrutura Urbana (24), Outra Área não Vegetada (25), Mineração (30), Aquicultura (31), Cultura Perene (36), Cultura de Soja (39) e Outras Lavouras Temporárias (41).

O segundo passo é a aplicação de um filtro temporal em todos os pixels, de pelo menos 6 anos (três anos antes da transição, o ano da transição, e dois anos depois da transição). A filtragem identifica pixels com classificação consistente antes e depois do evento de transição. Por exemplo, um pixel é identificado como desmatamento apenas quando a transição de vegetação natural para uso antrópico é precedida por três anos de classificação como vegetação natural e seguida de três anos de classificação como uso antrópico (incluindo o ano da transição). Para minimizar a incerteza associada aos anos nas extremidades da série temporal, o filtro considera mais anos antes ou depois do ano avaliado, dependendo da disponibilidade na série. Flexibilizando-se os critérios para os anos na extremidade da série, esta abordagem permite gerar estimativas para o período de 1986 a 2019 (Figura 4).

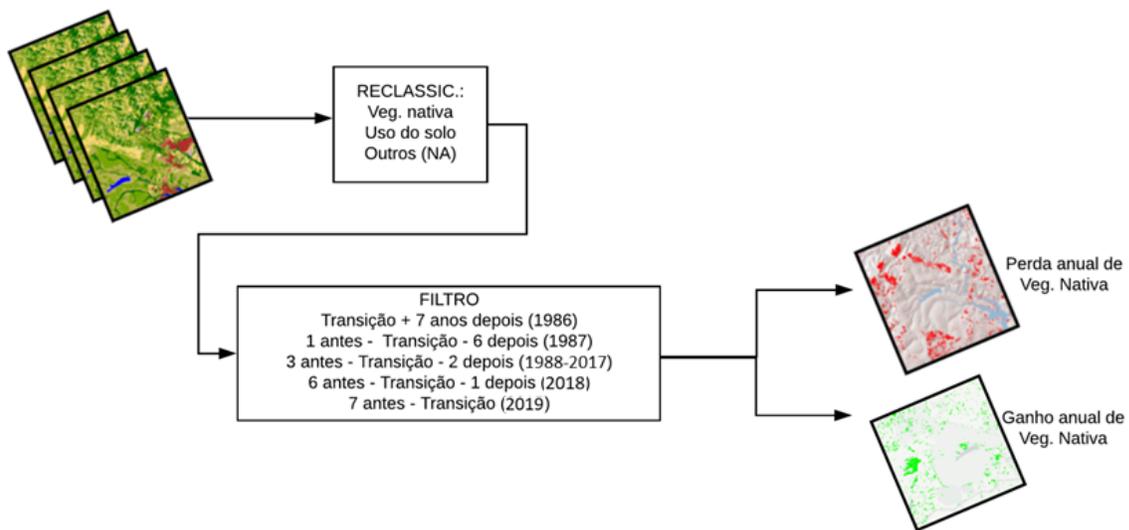


Figura 4. Regras da janela temporal para a geração das máscaras de perda (desmatamento) e ganho (regeneração) de vegetação nativa a cada ano.

Por fim, os mapas anuais de perda e ganho de vegetação nativa passam por um filtro espacial, com um kernel de 5 pixels, para exclusão de transições muito pequenas e isoladas.

2.2.2. Estabilização das coberturas anuais

O próximo passo para geração das transições consistentes para os cálculos do SEEG foi a obtenção das coberturas anuais estáveis em todo o período e a estabilização das mudanças de uso da terra observadas dentro das máscaras de perda e ganho de vegetação nativa.

O passo-a-passo para estabilização das coberturas anuais, aplicado a todos os anos do período, está resumido na Figura 5 e é o seguinte:

- 1) A nível de pixel, gera-se a frequência de cada classe em todo o período da coleção.
- 2) Gera-se uma camada de vegetação nativa estável, onde somente os pixels que foram vegetação nativa (ou água) durante 95% do período (34 anos entre 1985 e 2019) são mantidos, e a classe mais frequente é alocada.

- 3) Gera-se uma camada de uso antrópico estável, onde somente os pixels que foram classe de uso durante 100% do período (34 anos) são mantidos, e a classe mais frequente é alocada.
- 4) Fora dessas duas coberturas estabilizadas (vegetação nativa e uso antrópico), as áreas passíveis de mudança são alocadas com as classes originais de cada ano apenas nas áreas das máscaras de desmatamento e regeneração geradas no passo anterior.
- 5) Dentro das áreas passíveis de mudança (áreas dentro das máscaras), a classe de maior frequência antes e depois da mudança são alocadas.
- 6) Nas áreas de regeneração, as classes nativas são multiplicadas por 100 para indicar vegetação secundária.
- 7) Pixels vazios após este procedimento são indicativos de trajetória de classificação com alto grau de incerteza e são desconsiderados.

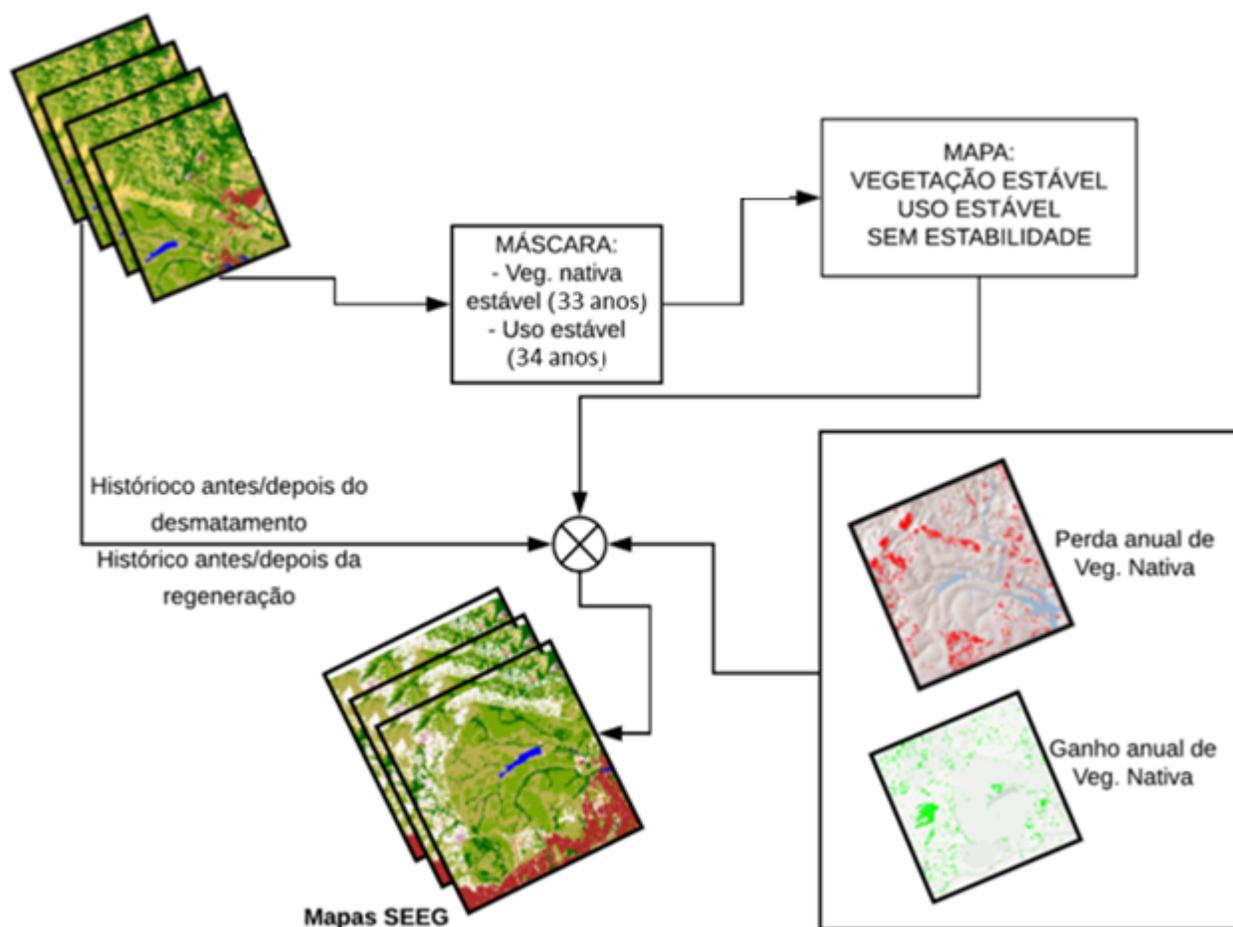


Figura 5. Passos envolvidos na geração das coberturas ano a ano a partir da Coleção 5.0 do MapBiomas, que foram utilizados para estimativas de emissão e remoção por mudanças de uso da terra no SEEG 8 MUT.

2.2.3. Geração das transições ano a ano

A partir das coberturas estabilizadas, as transições ano a ano foram geradas pela aplicação da seguinte aritmética por pixel:

$$\text{Transição} = t1 * 10000 + t2$$

Dessa forma, foram gerados 30 mapas de transição (de 1990-1991 a 2018-2019), em que a informação das classes no primeiro ano (t1) e no segundo ano (t2) foram mantidas em um único código. O início da série em 1990 foi determinado para representar o período coberto pela Terceira Comunicação Nacional (MCTI, 2015). O valor de 10000 foi necessário para acomodar os maiores valores de classe nativa secundária. Por exemplo, vegetação campestre secundária (classe 12000) constante na transição:

$$\text{Transição} = 12000 * 10000 + 12000 = 120012000$$

2.2.4. Cálculo zonal das áreas das transições

O objetivo do SEEG 8 no setor MUT é obter estimativas de emissões e remoções associadas à mudanças no uso da terra que sejam relacionáveis aos biomas e estados, e que estejam associadas às coberturas dentro e fora de áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras indígenas do ICMBio e da FUNAI), conforme descrito anteriormente.

As áreas de cada transição par a par foram então calculadas por níveis “zonais”, representados por dois rasters: um em que o valor do pixel é o código dos biomas e estados (geocódigo do IBGE de três algarismos, em que o primeiro algarismo define o bioma e os dois seguintes definem o estado); e outro cujo valor do pixel indica dentro (1) e fora (0) de áreas protegidas.

2.2.5. Aplicação dos fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição

Com base nas áreas geradas pelo cálculo zonal, nos valores de estoque e incremento de carbono em cada classe e nas equações específicas para os diferentes tipos de transição, presentes no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015), os valores de carbono equivalente (CO₂e) associados à cada mudança em cada ano foram calculados, sendo positivos no caso de emissões e negativos no caso de remoções.

Após os cálculos, os tipos de transição foram classificados em desmatamento, regeneração e outras mudanças de uso da terra, permitindo a geração das estimativas nas seguintes categorias:

- 1) Emissão por alteração de uso da terra;

- 2) Remoção por vegetação secundária;
- 3) Remoção dentro de áreas protegidas;
- 4) Remoção por outras mudanças de uso da terra.

No entanto, para a aplicação dos cálculos do Terceiro Inventário para o presente método, alguns ajustes foram realizados.

As equações presentes no Terceiro Inventário Nacional levam em consideração o tempo do período considerado (no caso do Inventário, 1994-2002 e 2002-2010 para a maioria dos biomas e um período adicional de 2002-2005 para a Amazônia) para algumas transições. Por exemplo, uma floresta manejada tem seu incremento anual calculado ao longo de todos os anos (T) do período; e a recuperação de uma vegetação secundária é assumida como tendo início na metade do período (T/2). No presente método, esses parâmetros de tempo foram excluídos das equações, pois calculamos a transição pontualmente no tempo, de um ano para outro.

Outro ajuste necessário foi criar a correspondência das diferentes classes consideradas no Terceiro Inventário com as classes presentes nos mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomas, para a aplicação dos valores de estoque e incremento de carbono de cada classe. Essa correspondência e os valores finais de estoque e incremento anual relativo às classes do MapBiomas estão descritos nos itens abaixo.

Primeiramente, foi necessário fazer a correspondência das classes de uso e cobertura da terra da Coleção 5.0 do MapBiomas com as classes utilizadas no Terceiro Inventário e consideradas pelo IPCC (2006). São essas classes que definem e organizam o tipo de transição a ser contabilizada, de forma compatível entre os métodos. Essas classes incluem:

- FM (floresta manejada): classes Formação Florestal (3), Formação Savânica (4) e Mangue (5).
- FNM (floresta não manejada): classes Formação Florestal (3), Formação Savânica (4) e Mangue (5).
- GM (campo manejado): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12) e Outras Formações Não Florestais (13).
- GNM (campo não manejado): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12) e Outras Formações Não Florestais (13).
- FSec (floresta secundária): classes Formação Florestal (300), Formação Savânica (400) e Mangue (500).
- GSec (campo secundário): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (1100), Formação Campestre (1200) e Outras Formações Não Florestais (1300).
- Ref (floresta plantada): classe 9.
- Ac (áreas agrícolas): classes Cana (20), Lavoura Perene (36), Soja (39), Outras Lavouras Temporárias (41) e Mosaico de Agricultura e Pastagem (21).
- Ap (pastagem): 15.
- O (outras classes): classes Praias e Dunas (23), Infraestrutura Urbana (24), Outras Áreas não Vegetadas (25), Afloramento Rochoso (29), Mineração (30) e Aquicultura (31).

2.2.5.1. Estoque e incremento em vegetação nativa primária

Os valores de estoque de carbono na vegetação nativa presentes no Terceiro Inventário são relativos ao estoque total (somando os compartimentos de estoque acima do solo, abaixo do solo, de serrapilheira e madeira morta) estimados para cada classe da legenda do mapa de fitofisionomias do IBGE (IBGE, 2012). Para compatibilizar as classes de vegetação nativa do IBGE e as classes do MapBiomas, foi necessário agrupar os tipos de vegetação de acordo com sua classificação, onde presente, em Formação Florestal (classe 3), Formação Savânica (classe 4), Mangue (classe 5), Campo Alagado e Área Pantanosa (classe 11), Formação Campestre (classe 12) e Outras Formações Não Florestais (classe 13). Esse agrupamento se deu baseado em uma consulta com especialistas de cada bioma. No caso do Cerrado, especificamente, os estoques no Terceiro Inventário são referentes ao estado, e portanto esse cálculo de estoque também foi regionalizado por estado. O valor de estoque de carbono final para cada uma dessas grandes classes do MapBiomas foi, portanto, calculado como a média ponderada dos estoques de cada tipo de vegetação do IBGE de acordo com sua proporção no bioma (disponível no Relatório de Referência do Terceiro Inventário, MCTI, 2015). A correspondência das classes e os valores de estoque originais, as proporções das classes por bioma e os valores finais de estoque considerados no presente método estão apresentados no Tabela 2, exceto para os valores finais de estoque de Floresta no bioma Cerrado, que são específicos por estado (Tabela 3).

Tabela 2. Agrupamento das classes de vegetação nativa conforme a legenda do mapa de fitofisionomias do IBGE para correspondência com as classes de vegetação nativa do MapBiomas Coleção 5.0 e seus estoques de carbono finais associados, de acordo com as grandes classes, onde presente: Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12), Outras Formações não Florestais (13). Os valores finais de Floresta para o bioma Cerrado foram calculados por estado e estão apresentados em outra tabela.

Bioma	Classe IBGE	Classe MapBiomas	Fitofisionomia IBGE	Proporção no bioma (%)	Estoque segundo o Terceiro Inventário (tC/ha)	Estoque segundo o SEEG (tC/ha)
Amazônia	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	2.26	193.3	174.37
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	9.72	164.08	
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	15.14	146.94	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0.04	145.37	

Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	0.13	136.35	
Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	4.84	225.09	
Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	23.44	198.28	
Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	0.89	155.27	
Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	22.72	197.71	
Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual aluvial	0.15	133.20	
Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	0.56	145.37	
Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual montana	0.02	155.27	
Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	5.46	122.06	
La	Floresta (3)	Campinarana Arborizada	0.65	20.52	
Ld	Floresta (3)	Campinarana Florestada	3.00	139.28	
Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	2.03	49.76	
Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	0.12	33.99	
Pa	Floresta (3)	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	1.72	141.38	
Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	1.18	39.92	39.69
Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	0.01	11.96	
Pf	Mangue (5)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0.36	117.2	117.2

	Lg	Campo (12)	Campinarana gramíneo lenhosa	0.39	23.21	23.21
	Lb	Natural não florestal (13)	Campinarana Arbustiva	0.27	19.68	13.50
	Tp	Natural não florestal (13)	Savana Estépica Parque	0.08	11.45	
	Sp	Natural não florestal (13)	Savana Parque	1.43	15.21	
	Sg	Natural não florestal (13)	Savana Gramíneo-Lenhosa	0.38	6.01	
	Rm	Natural não florestal (13)	Refúgio montano	0.12	5.67	
	Tg	Natural não florestal (13)	Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	0.02	5.29	
Caatinga	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	1.26	164.08	83.79
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0.57	88.17	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	<0.01	105.11	
	Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	1.11	95.26	
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	2.64	95.26	
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0.16	118.48	
	Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	2.86	106.94	
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0.15	116.46	
	Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	3.55	106.88	
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	11.95	71.265	

	Pa	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	0.30	36.24	
	Pm	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência marinha	0.27	130.70	
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	9.3	68.65	
	Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	0.25	30.54	
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	3.02	39.92	16.18
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	74.42	15.23	
	Tg	Savana (4)	Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	0.04	4.63	
	Pf	Floresta	Formação Pioneira com influência fluvio-marinha	0.18	117.20	117.20
	Rm	Campo (12)	Refúgio Montano	0.32	16.24	12.77
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	0.32	18.49	
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	0.23	17.61	
	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	1.49	10.06	
Cerrado	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0.03	183.30	valor por estado
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	1.26	164.08	
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0.57	88.17	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	<0.01	105.11	
	Cm (MG/BA/GO)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	1.11	62.70	
	Cm (MS/SP)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	1.11	127.83	

Cs (MG/BA/GO/TO/PI / DF/MA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	2.64	62.70
Cs (MS/SP/MT)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	2.64	127.83
Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0.01	225.09
Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	0.03	177.75
Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0.16	118.48
Ea	Floresta (3)	Estepe Arborizada	0.01	27.85
Fa (TO/PA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	2.86	98.27
Fa (MG/GO/DF/BA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	2.86	75.89
Fa (SP/PR)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	2.86	86.08
Fa (MT/MS)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	2.86	167.52
Fb (MT)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0.15	145.37
Fb (GO/MG)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0.15	87.55
Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	3.55	106.88
Fs (PI/MA/BA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	11.95	54.98
Fs (MG/TO/GO/SP/M T/MS/RO)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	11.95	87.55
MI	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Alto- montana	0.01	142.66

Mm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Montana	0.10	142.66		
Pa	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	0.30	36.24		
Pm	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência marinha	0.27	130.70		
Sd (SP)	Floresta (3)	Savana Florestada	9.30	68.99		
Sd (MG/GO/DF/BA)	Floresta (3)	Savana Florestada	9.30	52.42		
Sd (MT/MS)	Floresta (3)	Savana Florestada	9.30	103.45		
Sd (TO/MA/PI)	Floresta (3)	Savana Florestada	9.30	49.76		
Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	0.25	30.54		
Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	29.46	39.92	39.19	
Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	0.90	15.23		
Pf	Mangue (5)	Formação Pioneira com influência fluvio-marinha	0.06	117.2	117.2	
Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-lenhosa	9.95	18.49	22.79	
Sp	Campo (12)	Savana Parque	24.85	24.65		
Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa	0.12	5.27		
Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	0.10	11.45		
Rm	Campo (12)	Refúgio Montano	0.01	18.49		
Mata Atlântica	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	<0.01	47.03	130.39
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	0.05	47.03	
	Am	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Montana	0.05	47.03	

As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0.12	47.03	
Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0.03	121.76	
Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	<0.01	62.70	
Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	4.14	106.41	
Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	4.17	106.41	
Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0.08	173.83	
Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	2.05	128.42	
DI	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana	0.43	105.53	
Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	8.82	177.75	
Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	13.22	151.42	
Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual aluvial	0.03	75.89	
Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	0.22	87.55	
Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual montana	13.64	106.88	
Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	18.29	123.05	
Pm	Floresta (3)	Pioneiras com influência Marinha	0.54	130.70	
Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	0.27	39.92	20.30
Sd	Savana (4)	Savana Florestada	0.64	52.42	

	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	5.44	15.23		
	Td	Savana (4)	Savana Estépica Florestada	0.16	30.54		
	Pf	Mangue (5)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0.73	117.20	117.2	
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	5.98	18.49	18.14	
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	1.44	17.61		
	Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa	0.24	12.60		
Pantanal	Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	<0.01	121.76	101.51	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	0.43	105.11		
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	1.14	127.83		
	Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	4.20	167.52		
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das terras baixas	<0.01	145.37		
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	0.10	123.05		
	Pa	Floresta (3)	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	17.15	81.60		
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	15.54	103.45		
	Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	<0.01	99.32		
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	31.38	55.92	54.58	
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	0.99	11.96		
		Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo Lenhosa	15.76	18.49	16.67
		Sp	Campo (12)	Savana Parque	0.95	31.68	

	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	4.75	11.45		
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo Lenhosa	15.76	18.49		
	Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	4.12	5.27		
Pampa	Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	1.94	121.76	80.64	
	Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	0.08	106.41		
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	6.18	106.41		
	Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	<0.01	177.75		
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0.04	151.42		
	Ea	Floresta (3)	Estepe Arborizada	17.19	55.74		
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0.17	86.08		
	Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	0.01	106.88		
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	5.51	123.05		
	Mm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Montana	0.06	142.66		
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	0.04	49.96		
	Ta	Floresta (3)	Savana Estépica Arborizada	2.14	55.74		
	Eg	Campo (12)	Estepe Gramíneo Lenhosa	8.61	2.12		10.81
	Pf	Campo (12)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0.18	12.57		
Pm	Campo (12)	Pioneiras com Influência Marinha	0.98	12.57			

Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa	39.81	12.6	
Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	0.95	12.6	
Pa	Campo úmido (11)	Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre	7.83	12.57	12.57

Tabela 3. Estoques finais da classe Floresta (classe 3) do MapBiomias para o bioma Cerrado, calculado pela média ponderada de todas as fisionomias florestais do bioma de acordo com sua proporção em área no bioma, mas considerando valores específicos por estado naquelas classes onde houve diferenciação por estado pelo Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015).

Estado	Estoque (tC/ha)
AC	-
AL	-
AM	-
AP	-
BA	68.21
CE	-
DF	74.88
ES	-
GO	79.33
MA	70.39
MG	79.33
MS	107.79
MT	106.87
PA	83.57
PB	-
PE	-
PI	71.11
PR	82.56
RJ	-
RN	-
RO	89.91

RR	-
RS	-
SC	-
SE	-
SP	91.8
TO	81.63

Para cálculo das remoções em floresta manejada (dentro de áreas protegidas), é necessário aplicar estimativas de incremento em vegetação primária. Os valores utilizados foram os mesmos aplicados no Terceiro Inventário, e independem da classe de vegetação do IBGE. Eles se resumem em: a) Floresta, Savana e Mangue (classes 3, 4 e 5): 0,43 tC/ha/ano na Amazônia (com a exceção da classe 4 e 5, em que decidimos associar os valores do Cerrado), 0,20 tC/ha/ano no Cerrado, 0,10 tC/ha/ano na Caatinga, 0,32 tC/ha/ano no Pampa e 0,20 tC/ha/ano no Pantanal; b) Campo (classe 11, 12 e 13, onde presente): um valor único de 0,52 tC/ha/ano para todos os biomas.

Outras áreas naturais sem vegetação (classes 23: praia e duna; 29: afloramento rochoso) têm incremento e estoques de carbono nulos.

2.2.5.2. Estoque e incremento em vegetação nativa secundária

Os estoques de vegetação secundária são definidos como 44% do estoque de vegetação original em todas as classes e biomas (MCTI, 2015). Os incrementos anuais de vegetação secundária foram aplicados com base nos mesmos presentes no Terceiro Inventário, sendo constantes para todos os biomas: para vegetações campestres secundárias um valor único de 0,52 tC/ha/ano e para vegetações florestais e savânicas em áreas com histórico de uso antrópico, o incremento depende do tipo de uso (em áreas com histórico de pastagem: 2,85 tC/ha/ano; em áreas com histórico de agricultura: 4,73 tC/ha/ano; em áreas com outros usos: 0,59 tC/ha/ano).

O Terceiro Inventário também considera e calcula incrementos de vegetação secundária com histórico de floresta, que indica casos de recuperação após um distúrbio e degradação menos conspícuos que o desmatamento. No presente método, no entanto, esse tipo de transição não foi considerado.

2.2.5.3. Estoque e incremento em classes de uso antrópico

O Terceiro Inventário traz valores de estoque em pastagem, referente à classe 15 no MapBiomas, dependentes por bioma, e considera como constante o incremento anual de áreas de pastagem em todos os biomas (Tabela 4).

Com relação às áreas de agricultura, o Terceiro Inventário traz estimativas para culturas anuais e perenes. Os valores de estoque em agricultura anual (no MapBiomas, classes 39: soja; e 41: demais cultivos anuais) são constantes para todos os biomas, e os de incremento são variáveis (Tabela 4). Uma ressalva deve ser feita para a classe 21, referente ao mosaico de agricultura e pastagem no MapBiomas, onde não se diferencia se a área é de atividade agrícola ou de pecuária. Para essa classe alocou-se a média dos valores de estoque entre pastagem e agricultura anual para cada bioma, e os valores de incremento de agricultura anual, já que o de pastagem é nulo (Tabela 4). No entanto, a classe 21 na Coleção 5.0 do MapBiomas é restrita a pequenas áreas.

O Terceiro Inventário traz informações sobre estoques e incrementos de carbono de áreas de cultivos perenes (classe 20 no MapBiomas), que são constantes por bioma com a exceção do Cerrado. No MapBiomas, no entanto, temos também a informação de cultivos semi-perenes (classe 36). Para o presente método, aplicamos os mesmos valores de estoque e incremento de cultivos perenes às áreas de cultivos semi-perenes.

Tabela 4. Valores de estoque e incremento de carbono associados às classes de agropecuária por bioma, incluindo a informação da correspondência com as classes dos mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomas Coleção 5.0.

Tipo de valor	Classes	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
Estoque (tC/ha)	Pastagem (classe 15)	7.57	4.09	7.57	7.57	6.35	7.57
	Agricultura anual (classes 39 e 41)	5	5	5	5	5	5
	Agricultura Semi-perene e perene (classes 20 e 36)	21	9	21	21	21	21
	Mosaico de pastagem e agricultura (classe 21)	6.29	4.55	6.29	6.29	5.68	6.29
Incremento (tC/ha/ano)	Pastagem (classe 15)	-	-	-	-	-	-
	Agricultura anual (classes 39 e 41)	6.21	6.24	5.6	6.24	6.24	6.24
	Agricultura Semi-perene e perene (classes 20 e 36)	3.12	3.12	2.16	3.12	3.12	3.12
	Mosaico de pastagem e agricultura (classe 21)	6.21	6.24	5.6	6.24	6.24	6.24

A última classe referente ao uso antrópico a ser considerado nos cálculos das transições anuais é a classe de floresta plantada, ou silvicultura. Para essa classe, adotamos as estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono de Eucalipto e Pinus, de acordo com as respectivas proporções nos biomas e nos períodos adotados no Terceiro Inventário. Isso nos levou a considerar um valor de estoque constante de 51,22 tC/ha e um valor de incremento de 12,28 tC/ha/ano.

Por fim, os estoques e incrementos de estoque de carbono referentes a todas as demais classes antrópicas do MapBiomas presentes nas transições contabilizadas (24: infraestrutura urbana; 25: outras áreas não vegetadas; 30: mineração; e 31: aquicultura) foram considerados nulos.

2.2.5.4. Cálculo das emissões por resíduos florestais

As emissões por queima de resíduos florestais foram simplificadas no presente método e calculadas pela multiplicação de fatores fixos de emissão de gases associados à queima dos resíduos florestais após o processo de desmatamento (N_2O e CH_4) sobre a área total classificada como desmatamento. Esse fator foi obtido pela média do resultado final de emissões por queima de resíduos florestais nos diferentes períodos do Terceiro Inventário (1990-2002 e 2003-2010). Com isso, o fator de emissão para cálculo das emissões de CH_4 considerado para as áreas totais de desmatamento para todos os biomas é de 0,00169 tC/ha até 2002 e 0,00205 a partir de 2003. Para N_2O , o fator de emissão é de 0,000067 tC/ha até 2002 e 0,000074 tC/ha a partir de 2003.

2.2.6. Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento

Emissões por queimadas não associadas ao desmatamento não são contabilizadas nos Inventários Nacionais principalmente devido à ausência de dados históricos sobre a área queimada no Brasil, assim como sobre as transições de uso e cobertura da terra associadas a essas áreas. Porém, a incidência de queimadas tem se agravado no Brasil e no mundo e essas queimadas são frequentemente relacionadas a atividades humanas (origem antrópica) (Caúla et al., 2015, Fonseca et al., 2017). Frente a este cenário, a equipe do SEEG iniciou um esforço para entender melhor o fenômeno e como ele afeta as emissões brasileiras. O Anexo 2 aborda com mais detalhes este esforço e seus desafios.

2.3. Cálculo das emissões com base em carbono equivalente (CO_2e)

Existem duas abordagens para determinação do carbono equivalente: o GWP (Global Warming Potential) e o GTP (Global Temperature Change Potential). O primeiro é definido pela influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra e, o segundo, pela influência no

aumento de temperatura, em um prazo de 100 anos. É mais comum o reporte das emissões com base em GWP, e os resultados nesta Nota estão baseados em GWP.

Além disso, os valores de conversão para carbono equivalente dos diferentes gases foram sendo atualizados de acordo com os Relatórios do IPCC, o que é indicado pelo sufixo AR2, AR4 e AR5. O último relatório é indicado por AR5, e é o que utilizamos para reportar os resultados (IPCC, 2014). Mas o SEEG calculou as conversões para CO₂ equivalente de acordo com todos os métodos e relatórios, para fins de comparação, e esses fatores são apresentados no Tabela 5.

Tabela 5. Valores de conversão dos diferentes gases considerados no presente método para carbono equivalente (CO₂e) de acordo com o método e relatório do IPCC.

	CH₄	N₂O
GTP-AR2	5	270
GWP-AR2	21	310
GTP-AR4	5	270
GWP-AR4	25	298
GTP-AR5	4	234
GWP-AR5	28	265

3. Quadro de Qualidade dos Dados

Dada a complexidade dos cálculos necessários para consolidar o SEEG e devido à opção de usar apenas dados disponíveis de forma pública e gratuita, considerou-se necessário divulgar uma avaliação da qualidade dos dados. Assim, qualquer usuário ou leitor pode aferir a confiabilidade de cada cálculo e eventualmente contribuir para aumentar a robustez dos dados. A Tabela 6 a seguir, qualifica os dados do SEEG de 1990 a 2019 e segue a seguinte legenda:

Tabela 6. Legenda utilizada para qualificar os dados do SEEG no período de 1990 a 2019.

Aspecto	Valores
TIER	1 Tier 1 do IPCC - fatores globais
	2 Tier 2 do IPCC - fatores nacionais ou regionais
	3 Tier 3 do IPCC - fatores específicos por planta

EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 3º Inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados.
	2 Dados incompletos
	3 Dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 Dados disponíveis de forma pública e gratuita
	2 Dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica)
	3 Dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 Fator explícito, com referência
	2 Fator implícito com correlação (R^2) maior ou igual a 0,7
	3 Fator implícito com correlação (R^2) menor que 0,7
NECESSIDADE DE APRIMORAMENTO	1 Sem necessidade de aprimoramento
	2 Necessidade de aprimoramento de método ou obtenção dos dados para cálculo
	3 Necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DO DADO	1 Dado confiável; capaz de reproduzir 3º Inventário
	2 Dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas
	3 Dado pouco confiável ou de difícil avaliação

Além da tabela geral da qualidade de dados, estimamos também a qualidade da informação disponível para alocação das emissões por estado (Tabela 7).

Tabela 7. Legenda da qualidade de dados utilizada para alocação das emissões para a escala estadual no SEEG no período de 1990-2019.

Aspecto	Valores
OCORRÊNCIA DE ALOCAÇÃO	<p>1 Alocação possível de toda emissão nacional nos E estados (não fica resíduo/montante não alocado)</p> <p>2 Alocação parcialmente possível. Parte das emissões nacionais não foi alocada.</p> <p>3 Alocação para os estados não foi possível</p>
CRITÉRIO DE ALOCAÇÃO	<p>1 Critério de alocação está diretamente relacionado com os fatores de emissão</p> <p>2 Critério de alocação usa fatores indiretos com alta correlação com os fatores diretos.</p> <p>3 Critério de alocação usa fatores indiretos com baixa correlação com fatores diretos.</p>
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	<p>1 Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 3º Inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não públicos). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados.</p> <p>2 dados incompletos</p> <p>3 dados não existentes</p>
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	<p>1 dados disponíveis de forma pública e gratuita</p> <p>2 dados disponíveis com alguma restrição (pagos; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica)</p> <p>3 dados não disponíveis</p>
FATORES DE EMISSÃO	<p>1 fator explícito, com referência</p> <p>2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7</p> <p>3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7</p>
	<p>1 sem necessidade de aprimoramento</p>

NECESSIDADE APRIMORAMENTO	2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo
	3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
QUALIDADE GERAL DA ALOCAÇÃO	1 dado confiável; capaz de reproduzir 3o inventário
	2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas
	3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

A planilha com a qualidade de dados estará disponível no site do SEEG, explicando as razões para classificações '2' e '3' de cada dado. Esta planilha visa qualificar os dados que apresentamos quando comparado com a qualidade dos dados do inventário.

A precisão também pode ser aumentada se mapas espacialmente explícitos de biomassa dos biomas e de carbono do solo forem utilizados em conjunto com os dados espacialmente explícitos de uso e cobertura da terra.

4. Diferenças para o Inventário Nacional e Estimativas de Emissões Oficiais

O SEEG 8 utilizou os dados do Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016), enquanto o Quarto Inventário Nacional está em fase de revisão após a consulta pública. Apesar do Relatório de Referência do Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da terra e Florestas do Quarto Inventário Nacional ter sido disponibilizado para consulta pública a especialistas este ano, esses novos dados não foram incorporados pois não foram publicados oficialmente e valores de estoque e incremento de carbono podem ainda ser alterados e atualizados.

Nossas estimativas são diferentes em relação às estimativas do Terceiro Inventário (MCTI, 2016) em alguns aspectos e, no presente método, adotamos algumas simplificações, que poderão ser melhoradas nas próximas edições do SEEG MUT, de acordo com a disponibilidade de dados. As diferenças são as seguintes:

- As estimativas de emissões e remoções são anuais, e portanto as equações aplicadas no presente método não consideram o parâmetro T, presente em algumas equações do Terceiro Inventário (MCTI, 2016);

- Os estoques de carbono das classes de vegetação nativa foram estimados para cada classe de vegetação nativa do MapBiomass por bioma, a partir da média ponderada de acordo com a representatividade das fitofisionomias do IBGE no bioma disponível no Terceiro Inventário (MCTI, 2016), que no Terceiro Inventário é calculado a partir de mapas de biomassa dos biomas;
- Apresentamos estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono referentes às classes de uso agropecuário, que no Terceiro Inventário é calculado por estado;
- Apresentamos estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono referentes à classe de silvicultura (floresta plantada), que no Terceiro Inventário é calculado de acordo com a proporção de Eucalipto e Pinus por estado;
- Não calculamos as emissões referentes à atividade de corte seletivo na Amazônia, considerada no Terceiro Inventário;
- Não calculamos emissões relacionadas a carbono orgânico no solo associadas a diferentes transições de uso da terra;
- As emissões por calagem nos solos no SEEG 8 MUT foram agora calculadas e incorporadas no setor de Agropecuária, conforme mudança metodológica reportada no Quarto Inventário Nacional disponibilizado para consulta pública, todavia a ser publicado.

5. Resultados

Os resultados são apresentados por emissões de CO₂ por mudanças de uso da terra, queima de resíduos florestais e emissões totais no setor de uso da terra e florestas, como também as remoções em áreas protegidas, florestas secundárias e outras mudanças de uso da terra, no período de 1990 a 2019.

A Figura 6 apresenta as emissões brutas por todas as categorias calculadas no setor Mudança de Uso da Terra e Floresta a nível Nacional, e a Figura 7, as emissões totais líquidas nacionais e por bioma.

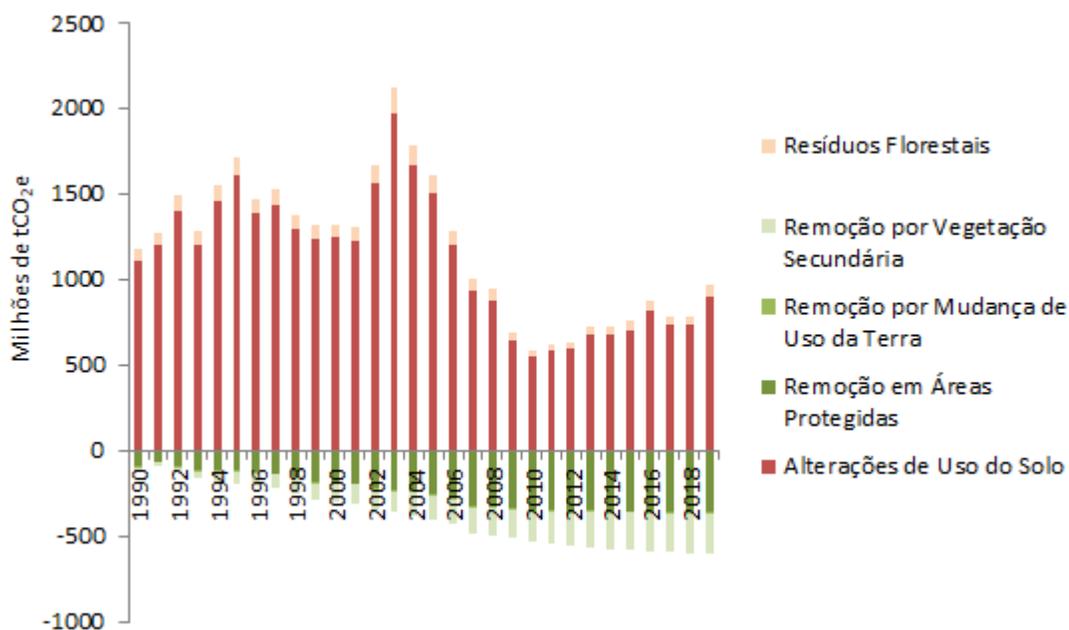


Figura 6. Emissões brutas totais nacionais em milhões de toneladas de CO₂e (GWP AR5) por categoria do setor MUT ao longo do período de 1990-2019.

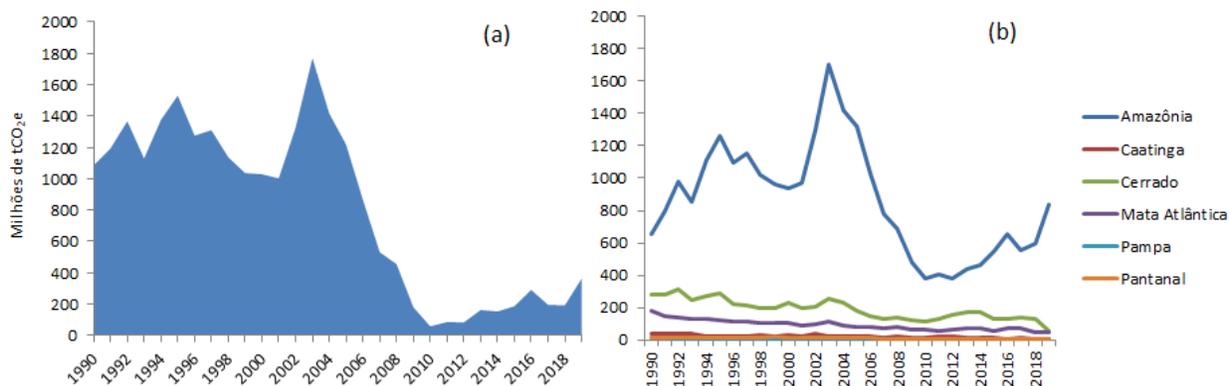


Figura 7. Emissões líquidas totais nacionais (a) e por bioma (b) em milhões de toneladas de CO₂e (GWP AR5) associadas ao setor MUT ao longo do período de 1990-2019.

5.1. Emissões por alterações de uso da terra

A Tabela 8 apresenta as emissões brutas de CO₂ por alterações do uso da terra por bioma e estado no período de 1990 a 2019, enquanto a Figura 6 apresenta as emissões brutas por alteração de uso da terra a nível Nacional.

Tabela 8. Emissões de tCO₂e (GWP AR5) por alterações de uso da terra por bioma e estado a cada cinco anos no período de 1990-2019.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	18,432,621	31,732,598	27,204,849	27,473,299	13,819,521	20,780,999	29,849,828
	AP	2,612,733	2,751,909	4,917,669	2,640,759	2,043,693	2,571,488	15,470,823
	AM	16,448,927	32,527,406	25,286,946	60,112,704	44,724,213	58,436,749	123,350,172
	MA	96,107,196	57,547,267	98,065,891	39,296,429	25,026,090	24,492,324	38,303,907
	MT	154,620,518	386,660,087	230,613,653	441,683,504	58,204,833	108,318,663	115,740,319
	PA	245,128,950	434,571,856	335,958,182	456,018,003	176,511,649	194,077,731	317,403,274
	RO	56,788,450	197,316,599	132,338,505	182,850,061	24,056,904	80,388,593	80,142,462
	RR	5,843,005	10,785,001	14,167,033	9,696,552	6,244,788	17,836,219	58,768,620
	TO	22,157,542	28,387,467	9,712,806	4,570,801	2,763,367	3,393,609	2,109,457
Caatinga	AL	461,392	281,173	193,294	131,278	103,888	142,045	121,086
	BA	13,423,289	9,972,561	9,615,169	5,673,508	5,147,199	3,205,615	1,642,317
	CE	11,499,676	2,855,456	9,346,682	8,171,144	3,503,593	3,235,126	892,381
	MA	0	6	5	7	1	0	0
	MG	1,245,580	1,183,167	639,554	713,279	446,124	388,078	292,967
	PB	2,387,943	3,018,573	1,173,137	1,724,916	1,440,416	706,765	783,106
	PE	3,973,210	1,945,672	1,879,818	1,484,406	1,144,199	686,897	407,609
	PI	2,389,144	1,041,243	1,581,877	1,260,687	914,655	554,271	365,218
	RN	2,289,229	1,109,695	2,172,923	1,259,028	1,618,119	726,430	703,586
	SE	568,865	543,736	447,879	161,518	111,075	115,628	150,920
Cerrado	BA	6,068,933	6,751,419	10,426,681	11,170,089	9,053,702	7,438,992	1,954,303
	DF	913,722	514,196	549,100	258,500	210,048	161,377	82,292
	GO	51,719,311	48,968,139	33,907,220	23,173,152	15,693,050	14,720,740	6,915,781
	MA	10,903,545	14,303,159	23,682,533	25,521,169	17,343,971	23,595,186	8,299,591
	MT	43,580,289	72,218,244	52,748,203	31,934,936	15,298,930	19,928,388	6,889,224
	MS	78,680,109	61,267,205	33,138,796	19,103,827	9,934,718	10,009,783	4,974,885
	MG	43,231,862	31,331,531	28,748,152	21,769,891	14,853,672	14,155,949	9,972,383
	PA	1,310,032	1,910,432	1,289,850	1,477,681	529,941	1,562,042	173,698
	PR	298,662	207,654	213,037	140,838	103,136	82,195	250,865
	PI	2,189,048	2,068,121	5,387,295	5,961,079	7,171,041	4,399,729	4,719,693
	RO	216,992	210,763	309,091	659,112	179,360	244,787	89,574

	SP	7,093,162	6,627,381	3,841,032	3,648,237	3,828,947	3,680,489	2,464,487
	TO	16,664,138	23,856,405	21,997,899	22,422,285	13,468,844	23,916,723	5,654,370
Mata Atlântica	AL	8,191,132	1,724,116	1,421,277	912,356	976,560	534,110	404,292
	BA	27,306,047	20,338,133	15,856,666	10,846,808	7,729,570	7,253,412	5,716,987
	ES	5,395,741	5,113,763	4,607,971	1,461,607	2,266,602	3,309,287	3,059,869
	GO	824,789	1,216,858	825,650	448,930	269,184	196,247	75,898
	MS	8,348,322	4,248,633	2,585,505	1,521,367	854,730	1,155,156	943,775
	MG	21,750,122	19,905,327	22,171,051	15,586,138	10,803,152	12,522,389	8,236,931
	PB	1,048,569	492,217	305,203	208,341	285,423	87,026	157,014
	PR	38,795,128	25,576,364	23,856,684	15,001,107	12,407,634	10,097,793	9,257,524
	PE	5,218,493	1,815,155	1,261,816	817,291	1,118,178	466,929	496,659
	RJ	4,581,940	1,893,777	2,170,739	1,270,310	1,409,480	1,296,107	877,236
	RN	205,045	32,557	269,375	68,401	131,924	50,554	72,629
	RS	8,406,085	5,305,897	5,682,658	5,637,424	6,962,543	3,990,280	4,634,463
	SC	19,712,355	11,188,618	11,735,783	11,607,481	9,437,615	6,071,183	7,397,558
	SP	17,990,095	16,271,048	9,493,304	8,180,020	9,588,774	8,995,193	5,488,951
SE	2,713,720	1,759,339	1,051,672	710,831	303,397	414,828	306,196	
Pampa	RS	9,762,077	6,794,854	6,176,087	4,500,073	4,870,897	3,747,344	7,773,520
Pantanal	MT	3,242,147	6,236,452	6,602,339	3,557,741	2,507,682	2,186,482	738,915
	MS	9,750,429	10,533,851	9,067,129	8,993,357	5,506,643	3,535,107	6,522,782

5.2. Emissões por queima de resíduos florestais

A Tabela 9 apresenta as emissões de CO₂ por queima de resíduos florestais (lenha e madeira extraída) por bioma e estado brasileiro no período de 1990 a 2019.

Tabela 9. Emissões de tCO₂e (GWP-AR5) por queima de resíduos florestais por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	1,197,263	2,061,506	1,765,611	2,110,292	1,058,756	1,593,350	2,297,503
	AP	97,381	23,020	191,421	197,559	152,523	190,412	1,172,003
	AM	1,045,118	2,091,255	1,593,324	4,602,140	3,413,562	4,472,706	9,499,278

	MA	6,206,920	3,692,239	6,302,961	2,984,159	1,881,571	1,843,372	2,939,597
	MT	9,999,267	25,104,298	14,907,103	33,856,090	4,332,142	8,196,835	8,819,842
	PA	15,680,410	28,161,208	21,694,882	34,973,086	13,400,625	14,736,828	24,383,597
	RO	3,663,752	12,828,964	8,590,768	14,051,501	1,820,589	6,158,310	6,157,961
	RR	378,114	698,946	918,798	740,702	472,494	1,363,886	4,522,582
	TO	1,433,496	1,842,505	628,374	343,721	209,587	255,715	161,154
Caatinga	AL	28,812	15,569	10,576	7,696	3,080	7,220	7,039
	BA	824,114	580,970	558,392	375,589	323,488	183,845	110,973
	CE	744,671	174,423	599,794	625,185	261,666	240,369	63,553
	MA	0	0	0	0	0	0	0
	MG	71,664	70,925	32,532	50,005	29,092	25,682	20,549
	PB	140,471	178,020	60,656	114,857	60,296	33,976	50,254
	PE	253,047	115,358	111,302	104,794	76,387	42,095	27,506
	PI	151,834	61,697	96,228	92,316	62,252	35,743	25,001
	RN	139,752	62,498	112,232	83,521	43,551	48,085	48,895
	SE	34,266	33,495	26,184	9,318	4,228	6,255	10,255
Cerrado	BA	366,338	391,919	640,475	817,893	655,274	543,296	123,698
	DF	51,453	26,055	27,957	12,196	10,742	9,189	4,140
	GO	3,187,732	2,998,441	1,993,430	1,517,923	962,756	841,360	379,766
	MA	683,381	895,317	1,509,595	1,904,916	1,271,292	1,765,444	599,382
	MT	2,726,270	4,568,943	3,305,498	2,276,338	1,028,210	1,433,876	415,189
	MS	4,855,815	3,874,122	2,035,380	1,340,028	605,325	540,186	245,020
	MG	1,708,996	1,692,753	1,560,219	1,177,521	646,483	698,177	488,635
	PA	82,193	119,171	80,795	110,451	30,994	115,459	10,281
	PR	5,133	3,903	6,783	1,777	672	1,288	1,064
	PI	126,591	114,212	331,253	436,989	519,886	313,203	351,975
	RO	13,370	11,972	18,475	48,743	12,616	17,777	6,070
	SP	219,136	216,797	82,606	72,501	92,727	72,878	56,602
	TO	1,016,420	1,492,600	1,338,351	1,646,302	961,809	1,758,459	380,421
Mata Atlântica	AL	493,625	80,058	55,218	29,680	37,727	10,802	22,608
	BA	1,392,279	1,065,611	920,105	707,117	455,686	428,582	363,908
	ES	237,293	299,544	275,210	82,649	115,765	116,904	199,952

GO	52,280	77,174	51,985	32,659	12,504	7,526	3,162	
MS	537,843	262,525	129,926	89,531	21,051	20,870	39,093	
MG	1,275,315	1,181,345	1,331,828	1,000,879	522,172	770,498	483,742	
PB	66,503	31,061	18,531	13,415	18,897	3,569	10,057	
PR	2,270,159	1,499,832	1,401,758	863,220	590,084	586,011	394,789	
PE	333,069	110,602	74,449	47,993	66,804	23,071	27,233	
RJ	289,797	111,274	129,818	82,888	88,846	81,516	58,761	
RN	11,526	1,064	15,317	3,414	7,457	1,708	4,840	
RS	511,100	316,049	338,522	372,405	357,267	262,548	290,227	
SC	1,143,662	630,347	663,058	655,056	308,356	374,256	352,720	
SP	1,058,730	887,100	434,706	380,733	378,273	334,219	218,212	
SE	172,474	111,772	64,504	51,207	16,437	21,219	20,032	
Pampa	RS	344,524	277,366	247,481	191,316	234,422	202,500	527,218
Pantanal	MT	200,289	382,870	421,317	254,388	178,468	150,860	56,310
	MS	611,017	657,772	558,487	662,852	371,889	243,073	502,508

5.3. Remoções em áreas protegidas

A Tabela 10 apresenta as remoções de CO₂ contabilizadas em áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) por bioma no período de 1990 a 2019 (Fonte dos dados espaciais sobre áreas protegidas: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio, 2019).

Tabela 10. Remoções de tCO₂e (GWP-AR5) em áreas protegidas por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	-5,052,220	-5,228,406	-6,206,660	-9,573,596	-10,575,709	-10,962,234	-10,930,400
	AP	-3,704,895	-3,769,025	-6,197,982	-12,141,966	-15,793,268	-15,781,178	-15,750,408
	AM	-19,568,923	-25,752,585	-59,877,238	-94,778,501	-124,570,024	-128,787,857	-134,327,882
	MA	-5,325,377	-5,657,689	-5,498,637	-5,386,192	-5,408,557	-5,320,229	-5,207,211

	MT	-10,184,202	-10,402,739	-12,374,181	-14,121,651	-15,212,452	-17,090,851	-17,051,539
	PA	-21,112,637	-28,977,361	-45,248,264	-54,482,043	-101,994,657	-102,095,748	-104,854,701
	RO	-9,053,864	-9,113,514	-12,079,568	-13,384,082	-13,825,438	-14,113,174	-13,996,526
	RR	-4,121,236	-13,051,114	-15,927,738	-16,638,081	-23,975,400	-24,025,979	-23,976,899
	TO	0	-9,221	-12,367	-18,634	-17,622	-16,784	-16,151
Caatinga	AL	-10	-77	-64	-112	-2,920	-3,307	-3,266
	BA	-214,795	-274,398	-987,674	-995,991	-1,473,189	-1,454,985	-1,935,694
	CE	-13,519	-14,160	-311,863	-312,131	-318,551	-314,316	-315,302
	MA	0	0	0	0	0	0	0
	MG	-22,661	-22,154	-53,532	-59,510	-75,078	-77,965	-77,430
	PB	-10	-332	-325	-13,271	-13,764	-12,962	-12,784
	PE	-1,536	-1,383	-102,244	-119,289	-120,093	-123,474	-173,355
	PI	-36,351	-36,338	-565,877	-559,075	-555,797	-551,591	-550,388
	RN	-2,838	-2,763	-3,655	-4,081	-3,534	-6,392	-6,245
	SE	-645	-569	-523	-510	-2,053	-2,086	-2,078
Cerrado	BA	-185,717	-503,251	-465,465	-601,185	-1,499,792	-1,417,290	-1,396,581
	DF	-110,785	-100,108	-96,143	-252,159	-245,960	-240,088	-237,135
	GO	-406,295	-403,668	-538,713	-1,529,263	-1,532,202	-1,517,998	-1,523,316
	MA	-711,453	-1,461,739	-1,462,414	-2,006,234	-2,514,676	-2,764,421	-2,733,017
	MT	-3,370,646	-3,448,469	-5,020,422	-5,390,068	-5,408,097	-5,558,431	-5,520,498
	MS	-145,607	-144,597	-158,714	-226,434	-240,143	-250,292	-257,877

	MG	-532,706	-545,653	-1,013,066	-1,570,847	-1,610,848	-1,643,018	-1,687,187
	PA	-1,585	-1,577	-1,808	-1,772	-9,394	-8,891	-8,469
	PR	0	-65,647	-60,987	-58,428	-56,280	-55,611	-54,655
	PI	-116,420	-116,391	-668,931	-1,008,135	-1,005,602	-999,853	-996,815
	RO	-70,542	-70,343	-70,159	-67,894	-67,240	-67,153	-67,126
	SP	-95,251	-86,815	-80,479	-83,185	-80,557	-79,357	-81,410
	TO	-481,719	-481,348	-3,725,216	-5,694,824	-6,116,314	-6,309,021	-6,241,413

Mata Atlântica	AL	-12,570	-12,850	-44,212	-42,793	-42,881	-47,595	-48,083
	BA	-45,312	-303,613	-363,449	-638,218	-762,845	-803,318	-795,419
	ES	-69,669	-74,155	-75,917	-85,643	-95,515	-115,823	-117,403
	GO	0	0	0	0	-623	-622	-621
	MS	-1,211	-3,658	-400,264	-380,794	-374,487	-374,031	-364,197
	MG	-245,305	-343,336	-510,896	-617,347	-629,389	-868,371	-866,808
	PB	-14,039	-15,895	-15,417	-16,688	-19,449	-19,817	-19,967
	PR	-544,042	-1,020,670	-1,166,748	-1,164,330	-1,197,928	-1,200,467	-1,194,447
	PE	-5,479	-5,342	-15,901	-15,711	-27,732	-52,798	-52,525
	RJ	-332,255	-334,254	-350,600	-482,776	-557,623	-607,598	-620,341
	RN	-17,723	-14,969	-19,692	-20,791	-19,976	-19,274	-18,691
	RS	-88,685	-105,926	-190,165	-209,895	-209,728	-208,607	-207,141
	SC	-186,484	-199,268	-240,744	-346,518	-395,137	-414,268	-419,686
	SP	-1,707,268	-1,696,424	-1,800,687	-1,845,131	-2,076,086	-2,102,429	-2,125,250

	SE	-34	-31	-31	-28	-7,676	-8,072	-8,179
Pampa	RS	-91,037	-640,588	-729,575	-718,657	-722,208	-725,071	-717,959
Pantanal	MT	-191,049	-190,947	-190,272	-431,453	-462,456	-458,168	-456,090
	MS	-382,502	-376,199	-414,113	-563,648	-587,639	-586,701	-587,320

5.4. Remoções por vegetação secundária

As remoções brutas de CO₂ por vegetação secundária por bioma no período de 1990 a 2019 estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Remoções de tCO₂e (GWP-AR5) por vegetação secundária por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	0	-356,519	-606,624	-956,031	-1,241,426	-1,788,968	-2,044,258
	AP	0	-550,865	-1,056,949	-1,724,418	-1,895,125	-2,015,739	-2,110,502
	AM	-3	-2,718,739	-4,385,634	-7,151,324	-8,701,138	-11,151,098	-12,077,364
	MA	0	-3,468,862	-5,786,047	-7,677,226	-8,753,501	-10,129,503	-11,781,558
	MT	-3	-2,792,886	-4,187,996	-5,986,298	-8,822,847	-12,619,579	-13,604,072
	PA	-134	-10,565,172	-17,546,918	-24,063,432	-29,361,208	-40,430,170	-45,227,523
	RO	0	-1,236,588	-2,222,015	-2,760,093	-3,933,055	-5,138,811	-5,416,855
	RR	0	-304,968	-490,102	-939,103	-1,368,554	-1,725,604	-1,950,034
	TO	0	-568,243	-1,071,785	-1,250,866	-1,700,694	-2,090,226	-2,191,560
Caatinga	AL	0	-48,713	-84,029	-134,934	-177,541	-229,221	-251,380
	BA	-341	-1,695,787	-2,894,872	-3,749,778	-4,473,739	-5,107,314	-5,692,483
	CE	-522	-612,872	-1,071,256	-1,276,784	-1,697,089	-1,909,680	-2,247,933
	MA	-1	-5	-13	-12	-13	-19	-20
	MG	-406	-226,261	-385,850	-530,344	-594,875	-593,158	-583,646
	PB	-796	-242,307	-486,225	-822,955	-965,537	-1,438,904	-1,455,692
	PE	-8	-277,328	-606,128	-902,063	-1,110,709	-1,224,208	-1,419,057
	PI	-577	-298,235	-553,020	-752,096	-986,564	-1,093,623	-1,222,625

	RN	-514	-422,348	-466,401	-861,000	-1,023,383	-1,226,337	-1,294,763
	SE	-13	-96,661	-114,531	-185,197	-262,160	-232,833	-233,508
Cerrado	BA	-1,828	-516,354	-779,986	-935,666	-1,220,031	-1,353,066	-1,562,789
	DF	-265	-23,110	-56,571	-75,513	-93,382	-99,111	-100,827
	GO	-2,005	-2,383,951	-4,208,269	-5,046,230	-6,165,089	-6,743,279	-6,947,014
	MA	-1,455	-627,239	-1,325,767	-1,640,357	-2,355,753	-3,108,900	-3,654,760
	MT	-189	-1,886,216	-2,655,727	-3,341,648	-4,718,545	-5,450,321	-5,495,422
	MS	-197	-1,694,043	-2,398,275	-2,808,161	-3,473,198	-3,887,829	-4,079,844
	MG	-6,924	-3,438,591	-5,332,264	-6,667,783	-8,028,456	-8,828,965	-9,304,313
	PA	-80	-36,774	-103,190	-153,641	-224,875	-294,452	-330,844
	PR	-1	-15,717	-32,020	-43,477	-60,547	-73,492	-68,239
	PI	-1,570	-311,870	-513,998	-689,205	-898,379	-1,156,184	-1,349,173
	RO	-16	-13,712	-20,453	-22,694	-40,192	-63,027	-68,003
	SP	-523	-395,271	-640,343	-948,240	-1,074,551	-1,009,696	-1,024,014
	TO	-1,359	-1,300,826	-2,453,501	-3,185,189	-4,181,177	-4,771,628	-5,090,838
	Mata Atlântica	AL	0	-160,312	-292,260	-378,616	-502,505	-654,650
BA		-2,082	-3,619,907	-5,272,284	-7,200,299	-9,577,693	-12,220,907	-13,162,923
ES		-31	-1,039,791	-1,432,670	-2,022,170	-3,047,113	-3,242,085	-3,277,842
GO		0	-110,907	-165,252	-190,796	-207,587	-236,547	-267,408
MS		-8	-302,452	-535,604	-678,488	-818,185	-1,049,041	-1,194,448
MG		-297	-5,390,431	-9,530,892	-13,379,292	-18,089,316	-22,656,591	-26,620,281
PB		-6	-160,574	-217,658	-252,712	-393,644	-458,413	-500,233
PR		-17	-3,042,013	-5,446,766	-7,260,650	-9,195,760	-11,306,952	-12,352,508
PE		-20	-668,919	-720,960	-915,127	-1,248,045	-1,686,691	-1,831,517
RJ		-30	-467,124	-787,732	-1,059,090	-1,304,285	-1,627,876	-1,803,536
RN		-9	-149,119	-98,491	-121,428	-201,517	-180,947	-194,879
RS		-15	-974,097	-1,870,427	-2,562,517	-3,341,184	-4,032,296	-4,285,097
SC		-20	-1,412,931	-2,679,579	-3,592,564	-4,761,439	-5,781,912	-5,948,535
SP		-33	-2,517,926	-3,936,334	-5,353,215	-6,881,601	-8,294,334	-9,582,242
SE		0	-255,494	-428,197	-502,123	-730,387	-935,931	-1,037,806
Pampa	RS	-6,080	-1,956,181	-2,740,726	-3,544,509	-4,037,159	-4,117,384	-4,052,302
Pantanal	MT	0	-228,334	-439,173	-486,478	-566,364	-640,744	-692,530

MS	0	-439,265	-753,173	-937,187	-1,119,315	-1,514,299	-1,588,966
----	---	----------	----------	----------	------------	------------	------------

5.5. Remoções por outras mudanças de uso da terra

A Tabela 12 apresenta as remoções brutas de CO₂ em decorrência de outras alterações do uso da terra por bioma no período de 1990 a 2019.

Tabela 12. Remoções brutas de tCO₂e (GWP-AR5) por outros tipos de mudança de uso da terra por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	-48	-288,235	-11,557	-5,679	-12,515	-362	-16,930
	AP	-585	-7,645	-3,517	-2,081	-9,862	-12,402	-12,801
	AM	-3,758	-4,126	-1,900	-3,982	-5,222	-4,177	-10,154
	MA	-1,577	-3,294	-26,702	-7,735	-90,004	-69,092	-71,631
	MT	-70,609	-176,839	-182,676	-688,393	-903,808	-511,814	-444,127
	PA	-45,982	-91,736	-52,269	-70,582	-117,139	-125,125	-224,890
	RO	-718	-2,399	-1,007	-20,037	-52,606	-57,699	-90,168
	RR	-49	-79	-82	-218	-6,886	-4,307	-2,839
	TO	-72	-240	-2,104	-2,302	-6,165	-14,975	-12,634
Caatinga	AL	-3,981	-1,197	-1,830	-2,378	-3,769	-7,117	-3,465
	BA	-138,317	-165,846	-295,023	-200,857	-207,564	-441,826	-318,323
	CE	-43,693	-74,803	-61,523	-61,749	-56,156	-81,604	-12,363
	MA	-5	-12	-1	-1	-15	-8	-11
	MG	-4,147	-9,686	-5,416	-10,974	-11,221	-67,147	-36,768
	PB	-76,613	-28,199	-51,989	-101,038	-306,360	-87,055	-46,082
	PE	-23,733	-43,334	-20,103	-44,197	-26,624	-37,784	-17,241
	PI	-47,643	-54,442	-40,203	-46,912	-28,698	-51,530	-30,031
	RN	-42,069	-88,096	-98,808	-56,049	-80,601	-79,937	-24,550
SE	-8,491	-720	-1,114	-944	-1,688	-4,939	-5,321	
Cerrado	BA	-60,512	-181,576	-192,394	-685,649	-673,976	-437,495	-387,919
	DF	-78,684	-74,822	-60,213	-61,499	-33,826	-17,016	-15,020
	GO	-1,378,902	-1,754,283	-1,541,128	-1,534,798	-1,499,059	-415,264	-354,624

	MA	-72,912	-138,410	-134,049	-278,373	-269,314	-260,302	-577,235
	MT	-948,852	-1,609,627	-1,208,609	-1,643,128	-1,176,393	-725,734	-433,436
	MS	-762,146	-1,098,372	-749,533	-651,935	-1,411,051	-693,941	-1,286,516
	MG	-1,019,717	-937,575	-750,996	-1,641,871	-1,740,831	-510,996	-498,548
	PA	-10,623	-4,295	-3,652	-17,578	-7,382	-21,386	-4,281
	PR	-15,867	-24,079	-21,329	-23,777	-24,754	-10,831	-13,399
	PI	-81,184	-174,320	-132,400	-235,745	-283,330	-207,116	-171,415
	RO	-10,154	-17,650	-13,181	-15,883	-4,484	-3,553	-4,246
	SP	-483,304	-378,955	-364,270	-423,764	-389,939	-162,692	-125,666
	TO	-364,710	-359,817	-199,708	-647,589	-379,378	-266,870	-292,027
Mata Atlântica	AL	-14,734	-15,072	-22,259	-12,763	-40,941	-6,542	-4,396
	BA	-492,281	-148,196	-305,467	-482,653	-270,454	-150,663	-179,415
	ES	-46,709	-42,566	-45,106	-129,691	-133,680	-24,482	-47,331
	GO	-19,155	-11,231	-19,484	-10,257	-10,687	-3,279	-1,022
	MS	-90,100	-67,243	-76,144	-85,570	-219,901	-56,456	-14,967
	MG	-109,984	-138,037	-136,895	-267,927	-586,564	-177,590	-102,686
	PB	-3,577	-1,463	-6,272	-2,970	-7,191	-6,771	-1,284
	PR	-444,846	-458,013	-645,144	-457,000	-702,720	-224,317	-137,136
	PE	-4,815	-2,900	-4,701	-2,952	-7,587	-3,738	-4,493
	RJ	-40,940	-64,443	-70,033	-67,803	-115,689	-26,282	-18,658
	RN	-4,141	-3,020	-10,251	-3,459	-4,350	-6,629	-2,909
	RS	-57,239	-106,099	-136,233	-89,979	-122,273	-51,040	-33,020
	SC	-137,548	-211,404	-353,911	-386,261	-388,671	-120,502	-110,000
	SP	-105,644	-154,033	-141,242	-271,528	-441,368	-168,761	-95,824
	SE	-14,894	-15,906	-17,314	-16,367	-17,430	-9,613	-5,769
Pampa	RS	-216,253	-534,420	-630,950	-550,572	-1,467,106	-524,760	-719,560
Pantanal	MT	-405	-1,635	-3,852	-5,619	-17,167	-12,701	-4,794
	MS	-1,162	-4,812	-10,226	-16,002	-11,679	-19,315	-5,807

6. Referências

- Alencar, A., Shimbo, J. Z., Lenti, F., Balzani Marques, C., Zimbres, B., Rosa, M., et al. 2020. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, 12(6), 924.
- Baker, T. R. et al. 2004. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, London, v.359, n.1443, p.353-365.
- Berenguer, E., Malhi, Y., Brando, P., Cardoso Nunes Cordeiro, A., Ferreira, J., França, F., Chesini Rossi, L., Maria Moraes de Seixas, M., Barlow, J. 2018 Tree growth and stem carbon accumulation in human-modified Amazonian forests following drought and fire. *Phil. Trans. R. Soc. B* 373: 20170308.
- Bongers, F., Chazdon, R., Poorter, L., & Peña-Claros, M. 2015. The potential of secondary forests. *Science*, 348(6235), 642.
- Brando, P. M., Paolucci, L., Ummenhofer, C. C., Ordway, E. M., Hartmann, H., Cattau, M. E., Rattis, L., Medjibe, V., Coe, M. T., & Balch, J. 2019. Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 47, 555–581.
- Brienen, R. J. W., Phillips, O. L., Feldpausch, T. R., Gloor, E., Baker, T. R., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo-Mendoza, A., Malhi, Y., Lewis, S. L., Vásquez Martínez, R., Alexiades, M., Álvarez Dávila, E., Alvarez-Loayza, P., Andrade, A., Aragaõ, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., ... Zagt, R. J. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519(7543), 344–348.
- Bustamante, M. M. C., Silva, J. S. O., Cantinho, R. Z., Shimbo, J. Z., Oliveira, P. V. C., Santos, M. M. O., et al. 2018. Engagement of scientific community and transparency in C accounting: the Brazilian case for anthropogenic greenhouse gas emissions from land use, land-use change and forestry. *Environmental Research Letters*, 13(5), 055005.
- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J.F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., Heilbron Filho, P. F. L. 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74:1497–1508.
- Fearnside, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80(1–3), 21–34.
- Fonseca, M. G., Anderson, L. O., Arai, E., Shimabukuro, Y. E., Xaud, H. A., Xaud, M. R., ... Aragaõ, L. E. 2017. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015/2016 El Niño event. *Ecological applications*.
- Fundação S.O.S Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Relatório Técnico: Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2015-2016.
- IBAMA, 2013. Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS. Disponível em: siscom.ibama.gov.br/monitoramentobiomas. Acessado em: 10 de outubro de 2013.
- IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed., Rio de Janeiro, 276 p.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto Prodes – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. Disponível em: www.obt.inpe.br/prodes; Acessado em: outubro de 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Genebra, Suíça. Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies. Genebra, Suíça.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Genebra, Suíça.

Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Metcalfe, D. B., Paiva, R., Quesada, C. A., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J. Q., da Costa, A. C. L., Hutyra, L. R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle, E. H., Robertson, A. L., & Teixeira, L. M. 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15(5), 1255–1274.

Malhi, Y., Doughty, C. E., Goldsmith, G. R., Metcalfe, D. B., Girardin, C. A. J., Marthews, T. R., del Aguila-Pasquel, J., Aragão, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Brando, P., da Costa, A. C. L., Silva-Espejo, J. E., Farfán Amézquita, F., Galbraith, D. R., Quesada, C. A., Rocha, W., Salinas-Revilla, N., Silvério, D., Meir, P., & Phillips, O. L. 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Global Change Biology*, 21(6), 2283–2295.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Relatório técnico.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2016. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Miranda, S. C. 2012. Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2013. Biomass. Disponível em: www.mma.gov.br/biomass. Acessado em: 10 de outubro de 2013.

Nogueira E.M. et al. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, v.256, n.11, p.1853-1867.

Nunes, E. L., Costa, M. H., Malhado, A. C. M., Dias, L. C. P., Vieira, S. A., Pinto, L. B., & Ladle, R. J. 2012. Monitoring carbon assimilation in South America's tropical forests: Model specification and application to the Amazonian droughts of 2005 and 2010. *Remote Sensing of Environment*, 117, 449–463.

Projeto MapBiomass – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em agosto de 2020, através do link: <http://mapbiomas.org/>.

Pyle, E. H., Santoni, G. W., Nascimento, H. E. M., Hutyra, L. R., Vieira, S., Curran, D. J., van Haren, J., Saleska, S. R., Chow, V. Y., Carmago, P. B., Laurance, W. F., & Wofsy, S. C. 2008. Dynamics of carbon, biomass, and structure in two Amazonian forests. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113(G1), G00B08.

Rocha H.R.D. et al. 2002. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado sensu stricto) in southeast Brasil. *Biota Neotropica*, São Paulo, v.2, n.1, p.1-11.

Scaranello M. A. D. S. 2010. Dinâmica da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa de terras baixas e de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Silva Junior, C. H. L., Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Shimabukuro, Y. E., Vancutsem, C., Achard, F., Beuchle, R., Numata, I., Silva, C. A., Maeda, E. E., Longo, M., & Saatchi, S. S. (2020). Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. *Science Advances*, 6(40), 1–9.

Vieira, S., De Camargo, P. B., Selhorst, D., Da Silva, R., Hutyrá, L., Chambers, J. Q., Brown, I. F., Higuchi, N., Dos Santos, J., Wofsy, S. C., Trumbore, S. E., & Martinelli, L. A. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, 140(3), 468–479.

Wright, S. J. 2013. The carbon sink in intact tropical forests. *Global Change Biology*, 19(2), 337–339.

Anexo 1 - Método proxy de desmatamento por fontes oficiais para cálculo das emissões

Nas versões anteriores do SEEG MUT, até a versão 7, os dados oficiais lançados de estimativas de emissão por mudança de uso da terra se dava pelo que chamamos de Método *Proxy*. Nesse método são aplicados os fatores médios de emissão e remoção por tipo de mudança e período, resultantes do Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016) sobre as áreas anuais de desmatamento obtidas por fontes oficiais, quando disponíveis. Para fins de comparação, o SEEG 8 também produziu dados atualizados (até 2019) seguindo esse método.

No caso da Amazônia e do Cerrado, os dados do Prodes/INPE foram usados como *proxy* de desmatamento de 1990 a 2019, por serem oficiais e anuais. Para o bioma Mata Atlântica, foram utilizados os dados anuais de desmatamento de 1990 a 2019 da SOS Mata Atlântica/INPE. Para os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal, dada a ausência de dados oficiais e da mesma forma como publicado no SEEG 7, usamos os dados de desmatamento do MapBiomas, mas dessa vez com a Coleção 5.0 e para o período de 1990 a 2019.

Nas seções seguintes, explicamos o passo a passo para replicar este método, bem como a abordagem para realizar a alocação das emissões nos estados, além dos resultados comparando com o método do SEEG 8 (com dados do MapBiomas).

1. Emissões brutas por desmatamento

O método para estimar as emissões anuais por mudança de uso da terra e florestas foi baseado no utilizado pelo MCTI para as emissões de 1990 a 2015 (MCTI, 2013). Esse método foi adotado devido à carência de dados oficiais anuais de cobertura e uso da terra para reproduzir o método dos 2º e 3º Inventários brasileiros, que cobriram os períodos de 1994 a 2002 e 2002 a 2010 respectivamente (MCTI, 2010; 2016). A metodologia adotada implica que as emissões anuais foram calculadas usando a seguinte equação:

$$E_{CO_2e}(b, t) = \frac{D(b, t)}{\bar{D}(b, [1994, 2002])} \times \bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002]), t = 2006, \dots, 2012$$

Onde:

$\bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002])$: Emissões brutas de CO₂ equivalente no ano t, t = 2006, ..., 2012.

$D(b, t)$: Área desmatada no ano t, t = 2006, ..., 2012.

$\bar{D}(b, [1994, 2002])$: Taxa de desmatamento anual no período de 1994 a 2002.

$\bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002])$: Emissões anuais brutas médias de CO₂ equivalente no período de 1994 a 2002.

Essa equação assume que as emissões são proporcionais à área anual desmatada. Verificou-se que, no período de 1994 a 2002, houve alta correlação entre a área total desmatada e as

emissões totais de CO₂ equivalente (Figura 1). Esse resultado teve boa compatibilidade com os resultados do inventário (MCTI, 2013).

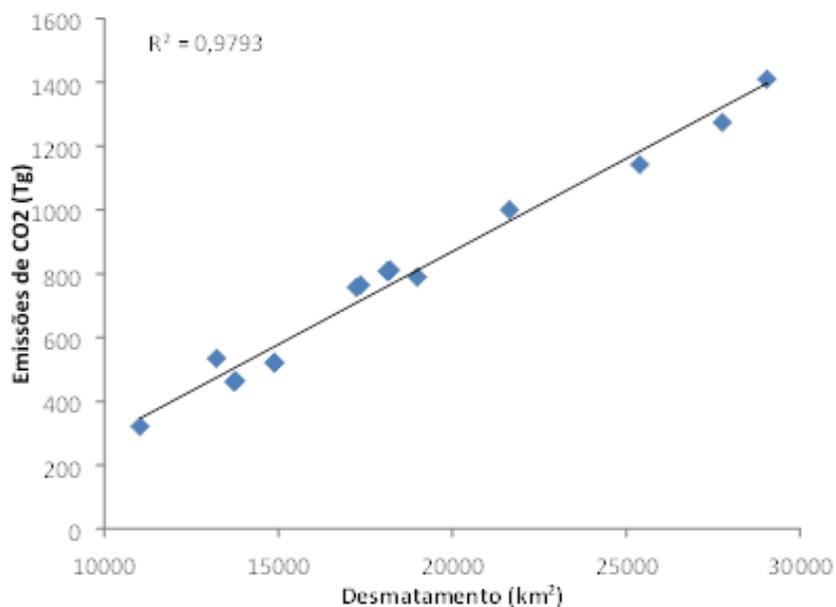


Figura 1. Relação entre o desmatamento e as emissões de CO₂ entre 1990 e 2002 (dados de MCTI, 2013).

No caso do SEEG Proxy os seguintes passos foram realizados:

- **Identificação das emissões brutas do 3º Inventário brasileiro para cada bioma.**
- O Terceiro Inventário Nacional de emissões atualizou os mapas de cobertura e uso da terra dos inventários anteriores e incluiu estimativas para os anos de 2005 (somente Amazônia) e 2010 (todos os biomas). Dessa forma, os períodos cobertos com mapas detalhados de cobertura e uso da terra são: (i) Amazônia: 1994-2002; 2002-2005; 2005-2010; (ii) Todos os outros biomas: 1994-2002; 2002-2010. A partir do Relatório de Referência do Terceiro Inventário (MCTI, 2015) identificamos o total de emissões brutas por bioma para os períodos descritos anteriormente.
- Para calcular as emissões brutas de cada bioma, consideramos a somatória dos valores positivos das tabelas existentes no anexo do Relatório de Referência (MCTI, 2015). Por exemplo, para o bioma Amazônia, a somatória das emissões brutas entre 1994 (agosto de 1993 a julho de 1994) e 2002 (agosto de 2001 a julho de 2002) foi de 8.570.835.000 tCO₂e, com média anual de 1.071.354.375 tCO₂e (Tabela 1).

Tabela 1. Emissões brutas de CO₂ por bioma para os períodos disponíveis no Terceiro Inventário (MCTI, 2016).

Biomass	1994-2002		2002-2005		2005-2010	
	Total (tCO ₂)	Média (tCO ₂ /ano)	Total (tCO ₂)	Média (tCO ₂ /ano)	Total (tCO ₂ /ano)	Média (tCO ₂ /ano)
Amazônia	8.570.835.000	1.071.354.375	5.413.157.800	1.804.385.933	3.910.447.900	782.089.580
Outros biomas			2002-2010			
			Total (tCO ₂)		Média (tCO ₂ /ano)	
Caatinga	225.707.200	28.213.400	299.106.600		37.388.325	
Cerrado	1.880.215.000	235.026.875	2.306.084.100		288.260.513	
Mata Atlântica	996.584.700	124.573.088	2.607.515.400		325.939.425	
Pampa	38.562.200	4.820.275	173.805.800		21.725.725	
Pantanal	176.982.300	22.122.788	142.465.400		17.808.175	

- **Cálculo da média anual de desmatamento para os períodos mapeados pelo inventário.** O passo seguinte foi estimar a média do desmatamento anual em hectares para os biomas nos mesmo período mapeados no inventário. Essa média foi calculada a partir dos dados secundários de desmatamento publicamente disponíveis para os biomas (Tabela 2).

Tabela 2. Média anual de desmatamento dos biomas brasileiros para os períodos de 1994 a 2002, 2002 a 2005 (excepcionalmente para Amazônia) e 2002 a 2010.

Biomass	1994-2002 (ha/ano)	2002-2005 (ha/ano)	2005-2010 (ha/ano)
Amazônia ¹	1.914.138	2.406.067	1.066.240
		2002-2010	
Caatinga ²	570.600	255.151	
Cerrado ²	1.123.463	1.239.628	
Mata Atlântica ²	214.300	39.283	

Pampa ²	4.715	35.515
Pantanal ²	80.750	58.199

Fonte: (1) Prodes (INPE); (2) PMDBBS (IBAMA).

- **Cálculo da relação entre o desmatamento mapeado anualmente nos biomas com as médias para os períodos do Inventário.** Para calcular essa proporção primeiro foi organizada a base de dados anuais de desmatamento publicamente disponíveis para cada bioma do período de 1990 a 2019. Para os biomas Amazônia e Cerrado, utilizou-se dados do Prodes/INPE. Para a Mata Atlântica, foram utilizados os dados da SOS Mata Atlântica/INPE. Para os outros biomas, utilizou-se os dados da Coleção 5.0 do MapBiomas (Tabela 3).

O uso dos dados do MapBiomas para obtenção de áreas de desmatamento por estado e bioma é o mesmo que o descrito no corpo desta Nota, sobre a criação das máscaras de desmatamento e regeneração para (o primeiro passo do método atual). Essas máscaras são geradas a partir da análise da trajetória de cada pixel ao longo da série temporal de classificação de uso e cobertura da terra. Trajetórias consistentes com os processos de desmatamento e regeneração são identificadas com base em critérios de permanência em um filtro espacial (ver seção 2.2.1 desta Nota).

Tabela 3. Dados de desmatamento disponíveis por bioma no Brasil para o período de 1990 a 2019.

Bioma	1990-2000	2002-2012	2013-2019	Fonte
Amazônia	1	1	1	Prodes/INPE
Caatinga	1	1	1	MapBiomas
Cerrado	3	2	1	Prodes/INPE
Mata Atlântica	1	1	1	SOS Mata Atlântica/INPE
Pampa	1	1	1	MapBiomas
Pantanal	1	1	1	MapBiomas
1	Dado anual de desmatamento			
2	Dado bianual de desmatamento			
3	Estimativa de média anual de desmatamento			

A partir dos dados da Tabela 3 calculou-se a proporção do desmatamento detectado anualmente por bioma em relação à média de desmatamento para os períodos do Inventário ilustrados na Tabela 2. Isso está exemplificado na Tabela 4.

Tabela 4. Exemplo de cálculo da proporção entre o desmatamento anual e a média anual referente ao período do Inventário no bioma Amazônia para o período 2010/2016.

Bioma	Dado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Amazônia	Desmatamento (ha)	700.000	641.800	457.100	589.100	501.200	620.700	789.300
	Proporção do desmatamento anual médio (2005-2010)	66%	60%	43%	55%	47%	58%	74%

- **Estimativa de emissões brutas (tCO₂).** Estimou-se as emissões brutas a partir da multiplicação entre as proporções de desmatamento de cada bioma com as emissões anuais brutas da Tabela 1. A Tabela 5 apresenta um exemplo das emissões brutas do bioma Amazônia para o período 2010-2016.

Tabela 5. Exemplo das estimativas de emissões brutas (tCO₂) do bioma Amazônia para o período 2010-2016 a partir dos dados de desmatamento do Prodes (INPE).

Dado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Emissões brutas (tCO ₂)	513.451.668	470.761.829	335.283.939	432.106.253	367.631.394	455.284.929	578.953.430

2. Emissões por queima de resíduos

As emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) estão associadas ao carbono emitido pela queima de lenha e madeira extraída, bem como ao carbono vegetal produzido (MCTI, 2013). Foram utilizados os dados de carbono de lenha publicados pelo Balanço Energético Nacional (BEN) para estimar as emissões desses gases. A seguinte equação foi utilizada:

$$CO_2_{resíduos} = C \times EF_{resíduos}$$

CO₂resíduos: Emissões de CO₂ por queima de resíduos (tCO₂e).

C: Estoque de Carbono (tC).

EF_{resíduos}: Fator de emissão associado à queima de resíduos.

3. Remoções

- **Áreas Protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas)**

As remoções de emissões para o setor de mudança de uso da terra são calculadas a partir das áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), consideradas áreas manejadas em vegetação nativa (floresta e campo), segundo o MCTI (2016). Não estão no cálculo as reservas particulares do patrimônio natural. O primeiro passo foi estimar fatores de remoção médio a partir das matrizes de transição do Terceiro Inventário. Para calcular os fatores foram utilizadas somente as regiões de persistência de Área Manejada, equivalente às áreas protegidas. Para a Amazônia o fator médio de remoção foi de 1,35 tCO₂e/ha/ano para todo o período, na Caatinga 0,57 tCO₂e/ha/ano para as áreas protegidas criadas até 2002 e 0,36 tCO₂e/ha/ano para as criadas a partir de 2002. No Cerrado, os fatores foram 0,88 tCO₂e/ha/ano para as áreas manejadas definidas até 2002 e 1 tCO₂e/ha/ano para as depois de 2002. Na Mata Atlântica o fator de remoção foi constante e igual a 1,02 tCO₂e/ha/ano. No Pampa os valores foram 1,57 tCO₂e/ha/ano para até 2002 e 1,55 tCO₂e/ha/ano para depois de 2002. Finalmente no Pantanal, até 2002 utilizou-se o fator de 0,94 tCO₂e/ha/ano e 0,92 tCO₂e/ha/ano para depois de 2002. Esses fatores de remoção foram então multiplicados pela extensão das áreas protegidas criadas anualmente pelo ICMBio e FUNAI (2017).

- **Florestas secundárias**

As estimativas de remoções por floresta secundária foram feitas em duas etapas principais. Primeiro calculou-se um fator de remoção médio anual a partir das áreas de persistência de floresta secundária publicadas no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016). Campos secundários não foram incluídos nas estimativas de remoções. A Tabela 5 apresenta esses fatores de remoção para todos os biomas brasileiros. Por exemplo, para o bioma Amazônia cerca de 109 milhões de tCO₂e foram removidos por áreas em que florestas secundárias persistiram entre 1994 e 2002. Essas áreas ocupavam um total de 751 mil hectares. Combinando-se esses dois valores estimou-se um fator médio anual de -18,19 tCO₂e por hectare pela persistência das florestas secundárias. O passo seguinte realizado foi estimar uma variação linear entre as áreas de floresta secundária para os períodos do Inventário. O passo final foi aplicar o fator de remoção médio a partir das áreas de floresta secundária calculadas no passo anterior.

Tabela 5. Fatores de remoção por floresta secundária por bioma no Brasil calculados a partir do Terceiro Inventário (MCTI, 2016).

Biomas	Remoções por Floresta Secundária	1994-2002	2002-2005	2005-2010
Amazônia	tCO ₂ e	-109.279.300,00	-156.188.100,00	-376.110.700,00
	Ha	751.094,90	2.862.684,70	4.136.114,40
	tCO ₂ e/ha/ano	-18,19	-18,19	-18,19

			2002-2010
Caatinga	tCO ₂ e	0,00	-11.797.900,00
	Ha	0,00	670.333,60
	tCO ₂ e/ha/ano	0,00	-2,20
Cerrado	tCO ₂ e	0,00	-39.502.700,00
	Ha	0,00	782.955,30
	tCO ₂ e/ha/ano	0,00	-6,31
Mata Atlântica	tCO ₂ e	0,00	-104.051.400,00
	Ha	0,00	663.029,60
	tCO ₂ e/ha/ano	0,00	-19,62
Pampa	tCO ₂ e	0,00	-1.665.400,00
	Ha	0,00	32.258,90
	tCO ₂ e/ha/ano	0,00	-6,45
Pantanal	tCO ₂ e	0,00	-2.127.700,00
	Ha	0,00	26.186,40
	tCO ₂ e/ha/ano	0,00	-10,16

- **Mudança de Uso da Terra**

As remoções por outros tipos de alteração de uso da terra foram calculadas somente para todas as outras remoções fora de áreas protegidas e persistência de floresta secundária. Essas estimativas também foram calculadas a partir das matrizes de transição disponíveis no Terceiro Inventário (MCTI, 2016). A Tabela 6 apresenta os fatores de remoção médio que foram calculados. Esses fatores permanecem constantes na série temporal 1990-2019 calculada para o SEEG.

Tabela 6. Remoção média associada às alterações do uso da terra por bioma no Brasil a partir do Terceiro Inventário (MCTI, 2016).

Biomass	Remoção por Mudança de Uso da Terra	1994-2002	2002-2005	2005-2010
Amazônia	tCO ₂ e	-31.857.300,00	-5.851.200,00	-26.306.800,00
	tCO ₂ e/ano	-3.982.162,50	-1.950.400,00	-5.261.360,00
			2002-2010	
Caatinga	tCO ₂ e	-26.636.200,00		-195.590.800,00
	tCO ₂ e/ano	-3.329.525,00		-24.448.850,00
Cerrado	tCO ₂ e	-51.980.800,00		-244.973.300,00
	tCO ₂ e/ano	-6.497.600,00		-30.621.662,50
Mata Atlântica	tCO ₂ e	-61.854.300,00		-365.172.400,00
	tCO ₂ e/ano	-7.731.787,50		-45.646.550,00
Pampa	tCO ₂ e	-4.479.900,00		-60.548.500,00
	tCO ₂ e/ano	-559.987,50		-7.568.562,50
Pantanal	tCO ₂ e	-661.200,00		-2.053.400,00
	tCO ₂ e/ano	-82.650,00		-256.675,00

1. Resultados

Os resultados obtidos pela aplicação do método proxy são apresentados por emissões de CO₂ por mudanças de uso da terra, queima de resíduos florestais, assim como as remoções em áreas protegidas, florestas secundárias e por mudanças de uso do solo, no período de 1990 a 2019 (Figura 2). As emissões totais líquidas nacionais e por bioma também estão apresentadas na Figura 3.

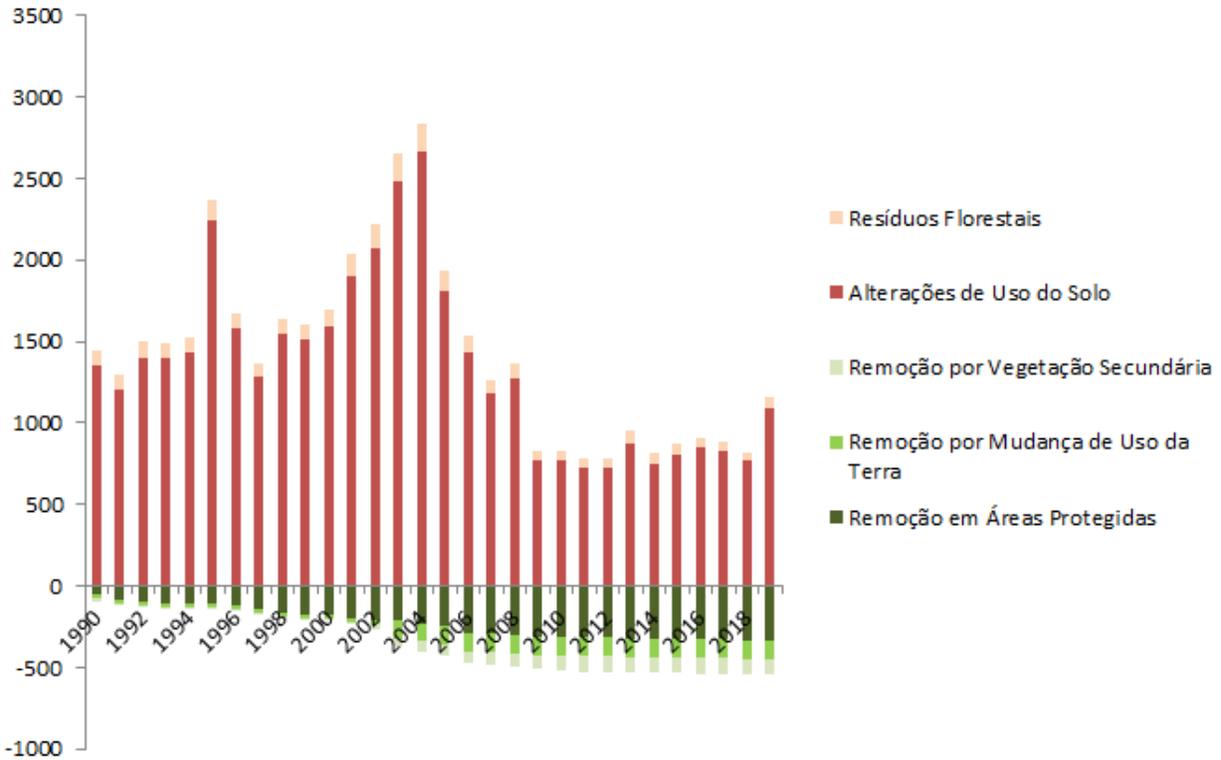


Figura 2. Emissões brutas totais nacionais em milhões de toneladas de CO₂e (GWP AR5) por categoria do setor MUT ao longo do período de 1990-2019, utilizando o método proxy de cálculo.

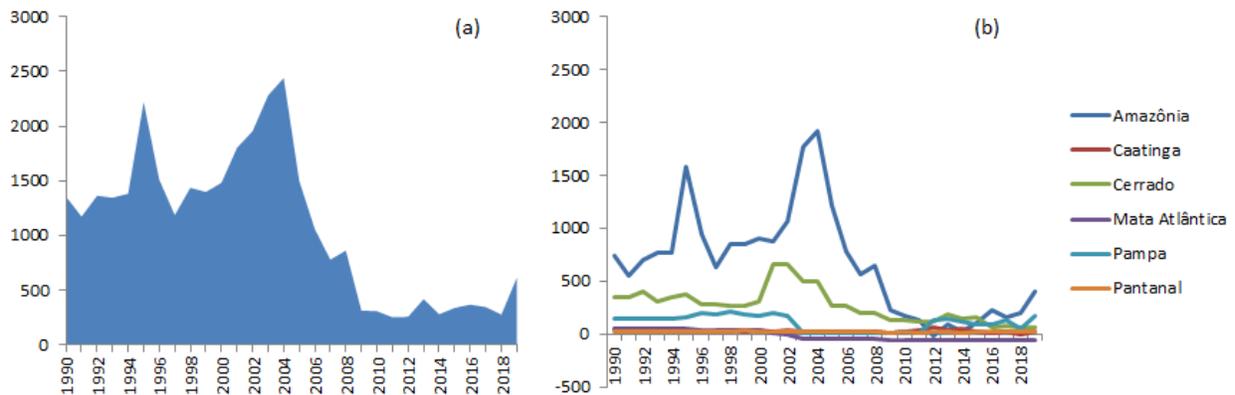


Figura 3. Emissões líquidas totais nacionais (a) e por bioma (b) em milhões de toneladas de CO₂e (GWP AR5) associadas ao setor MUT ao longo do período de 1990-2019, utilizando o método proxy de cálculo.

Para fins de comparação entre os métodos, a Figura 4 apresenta os padrões de emissões brutas e líquidas nacionais de acordo com o método do SEEG 8 (com dados do MapBiomass) e o método *proxy* (utilizado nas versões anteriores do SEEG). As seções seguintes trazem os resultados a cada 5 anos e por estado, quando disponível, das estimativas segundo o método *proxy*, assim como apresentado para o método MapBiomass no corpo desta Nota metodológica (seção 5. Resultados).

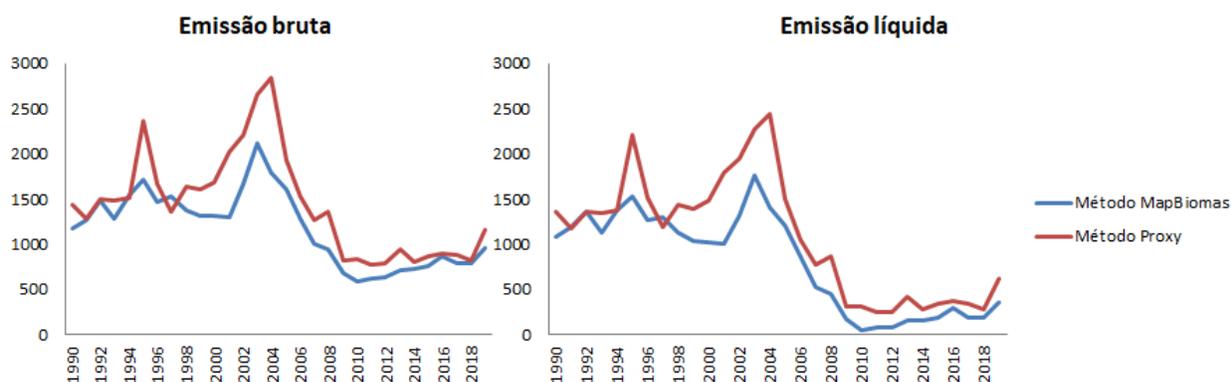


Figura 4. Comparação dos padrões de emissões brutas e líquidas nacionais em milhões de toneladas de CO₂e (GWP AR5) associadas ao setor MUT ao longo do período de 1990-2019, de acordo com os dois métodos de cálculo aplicados: o método do SEEG 8 (com dados do MapBiomas) e o método apresentado neste Anexo, relativo ao método das versões passadas do SEEG (método proxy).

- **Emissões por alterações de uso da terra**

A Tabela 7 apresenta as emissões brutas de CO₂ por alterações do uso do solo por bioma no período de 1990 a 2019 no método proxy.

Tabela 7. Emissões de tCO₂e (GWP AR5) por alterações de uso da terra por bioma a cada cinco anos no período de 1990-2019 no método proxy.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	30,784,035	67,612,935	30,616,122	44,395,963	18,997,712	19,364,463	50,024,862
	AM	29,104,906	118,322,636	34,254,235	58,119,715	43,643,392	52,225,370	105,184,242
	AP	13,992,743	503,739	3,327,471	2,474,775	3,887,563	1,833,756	2,347,208
	MA	61,568,070	97,669,347	59,609,086	69,143,713	52,225,370	15,330,200	17,384,006
	MT	225,003,309	581,594,374	356,479,123	535,826,279	63,888,057	117,433,731	124,842,105
	PA	273,698,055	439,092,278	373,382,357	442,384,775	276,530,398	157,923,063	306,017,194
	RO	93,471,524	264,742,699	137,968,447	243,277,880	31,907,354	75,550,745	92,201,249
	RR	8,395,646	12,313,614	14,160,656	9,974,093	18,777,661	11,442,637	43,276,641
	TO	32,463,164	44,608,865	13,656,917	20,323,152	3,594,162	4,180,964	1,687,055
Caatinga	AL	538,776	362,860	308,589	862,110	431,812	960,255	1,102,160
	BA	12,705,679	11,504,629	11,454,411	11,056,010	19,405,908	15,173,871	14,144,590
	CE	7,975,438	2,631,323	5,571,564	10,091,326	8,974,207	9,644,469	5,685,887
	MA	0	0	0	236,897	0	0	0
	MG	1,327,134	1,524,347	756,641	876,763	2,022,350	2,333,121	3,239,793

	PB	1,915,698	2,768,998	996,058	2,473,987	2,420,835	2,411,132	3,596,110
	PE	4,822,046	2,335,494	2,572,632	5,382,692	4,906,103	3,783,597	3,377,820
	PI	2,957,803	1,221,921	2,199,078	6,315,626	3,957,566	1,959,795	2,633,992
	RN	2,848,366	1,291,791	1,862,409	2,789,035	2,185,093	3,294,152	3,843,146
	SE	627,574	715,763	723,086	383,431	494,820	755,087	1,314,985
Cerrado	BA	14,863,493	15,623,134	21,592,126	28,236,111	18,963,489	20,936,113	13,058,323
	DF	1,534,070	782,567	933,794	429,227	192,964	80,637	39,377
	GO	69,467,813	66,989,140	46,709,007	38,590,899	22,897,913	19,110,016	10,217,988
	MA	13,022,497	17,931,203	31,651,111	37,273,411	26,571,601	25,987,061	20,540,773
	MG	47,405,608	44,863,097	41,479,077	43,786,021	21,285,959	18,792,175	7,791,663
	MS	72,910,977	56,205,616	31,275,446	24,808,883	8,108,563	9,802,096	4,617,014
	MT	69,019,168	103,713,102	71,584,128	42,856,186	15,693,927	26,599,212	14,599,210
	PA	1,409,165	2,241,610	1,822,402	2,289,270	450,667	2,399,700	236,810
	PI	3,924,393	3,579,129	9,568,844	15,314,118	13,055,656	13,288,467	7,274,582
	PR	167,476	285,065	209,787	413,696	327,254	107,464	10,668
	RO	229,032	174,285	528,806	2,196	3,765	3,451	3,608
	SP	4,947,106	5,062,286	2,770,301	3,361,337	1,137,232	393,929	95,854
	TO	25,135,825	35,268,680	33,926,343	41,242,349	28,549,246	48,058,681	23,463,313
Mata Atlântica	AL	0	0	0	0	0	2,593	0
	BA	14,146,574	0	0	931,412	2,503,965	2,591,073	2,291,057
	CE	0	0	0	0	0	1,945	16,216
	ES	3,908,143	3,008,748	1,968,862	201,065	76,821	99,183	8,433
	GO	147,481	86,930	393,889	1,049,002	103,724	22,041	3,243
	MG	9,813,483	11,932,904	14,074,545	10,686,173	4,041,027	4,992,856	3,225,123
	MS	2,717,107	563,034	2,122,442	272,911	37,924	170,491	243,246
	PB	0	0	0	0	0	7,131	55,136
	PE	0	0	0	0	0	88,163	51,244
	PI	0	0	0	0	0	1,896,793	1,010,608
	PR	2,934,159	11,350,419	20,672,878	7,297,786	1,052,800	1,288,730	1,794,834
	RJ	6,220,440	18,831,105	476,201	162,299	80,062	17,503	28,541
	RN	0	0	0	0	0	14,910	0
	RS	1,005,922	3,862,622	1,307,111	768,855	604,193	103,721	94,704

	SC	20,222,585	8,440,674	4,964,183	1,176,670	1,175,324	387,656	460,546
	SE	0	0	0	0	0	235,316	90,163
	SP	1,255,520	90,418	5,866,244	120,691	166,607	29,171	27,892
Pampa	RS	138,309,593	150,628,067	170,602,268	22,205,780	25,386,161	96,846,742	179,942,655
Pantanal	MS	19,204,476	16,182,783	15,687,074	14,197,827	12,974,352	11,581,517	15,965,479
	MT	5,644,377	8,781,033	11,916,189	7,624,192	7,349,947	5,826,553	3,560,911

- **Emissões por queima de resíduos florestais**

A Tabela 8 apresenta as emissões de CO₂ por queima de resíduos florestais (lenha e madeira extraída) por bioma e estado brasileiro no período de 1990 a 2019 (Fonte: MCTI, 2016; Balanço Energético Nacional) no método *proxy*.

Tabela 8. Emissões de tCO₂e (GWP-AR5) por queima de resíduos florestais por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019 no método proxy.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	1,305,100	2,866,475	1,297,982	1,707,235	746,915	761,335	1,966,781
	AM	1,233,913	5,016,332	1,452,221	2,234,979	1,715,887	2,053,297	4,135,432
	AP	593,227	21,356	141,069	95,167	152,844	72,096	92,283
	MA	2,610,201	4,140,728	2,527,149	2,658,904	2,053,297	602,723	683,471
	MT	9,539,098	24,656,907	15,113,064	20,605,062	2,511,828	4,617,033	4,908,302
	PA	11,603,530	18,615,479	15,829,682	17,011,793	10,872,090	6,208,915	12,031,395
	RO	3,962,760	11,223,864	5,849,223	9,355,188	1,254,472	2,970,359	3,624,991
	RR	355,936	522,040	600,346	383,551	738,264	449,880	1,701,468
	TO	1,376,288	1,891,209	578,990	781,522	141,308	164,379	66,328
Caatinga	AL	258,563	174,139	148,094	169,666	84,982	188,982	216,909
	BA	6,097,552	5,521,159	5,497,058	2,175,860	3,819,148	2,986,269	2,783,703
	CE	3,827,473	1,262,792	2,673,836	1,986,007	1,766,154	1,898,064	1,119,002
	MA	0	0	0	46,622	0	0	0
	MG	636,901	731,546	363,118	172,550	398,005	459,166	637,602
	PB	919,358	1,328,863	478,016	486,889	476,428	474,519	707,727
	PE	2,314,136	1,120,821	1,234,626	1,059,332	965,538	744,625	664,766
	PI	1,419,472	586,409	1,055,354	1,242,937	778,862	385,694	518,378
	RN	1,366,953	619,940	893,784	548,892	430,034	648,300	756,344
SE	301,178	343,500	347,015	75,461	97,382	148,604	258,794	

Cerrado	BA	1,685,944	1,772,109	2,449,163	5,190,457	3,485,932	3,848,547	2,400,425
	DF	174,007	88,765	105,919	78,902	35,471	14,823	7,238
	GO	7,879,632	7,598,480	5,298,134	7,093,909	4,209,171	3,512,867	1,878,305
	MA	1,477,123	2,033,910	3,590,139	6,851,724	4,884,481	4,777,029	3,775,874
	MG	5,377,149	5,088,755	4,704,911	8,048,894	3,912,857	3,454,441	1,432,290
	MS	8,270,185	6,375,321	3,547,528	4,560,452	1,490,543	1,801,854	848,715
	MT	7,828,743	11,764,025	8,119,683	7,877,968	2,884,911	4,889,557	2,683,676
	PA	159,839	254,262	206,712	420,821	82,843	441,121	43,531
	PI	445,138	405,975	1,085,380	2,815,093	2,399,935	2,442,731	1,337,238
	PR	18,997	32,335	23,796	76,047	60,157	19,754	1,961
	RO	25,979	19,769	59,982	404	692	634	663
	SP	561,143	574,208	314,231	617,892	209,050	72,413	17,620
	TO	2,851,120	4,000,475	3,848,215	7,581,307	5,248,018	8,834,309	4,313,105
Mata Atlântica	AL	0	0	0	0	0	115	0
	BA	577,471	0	0	41,435	111,392	115,267	101,921
	CE	0	0	0	0	0	87	721
	ES	159,533	122,819	80,370	8,945	3,417	4,412	375
	GO	6,020	3,549	16,079	46,666	4,614	981	144
	MG	400,592	487,108	574,531	475,388	179,770	222,114	143,474
	MS	110,914	22,983	86,639	12,141	1,687	7,585	10,821
	PB	0	0	0	0	0	317	2,453
	PE	0	0	0	0	0	3,922	2,280
	PI	0	0	0	0	0	84,381	44,958
	PR	119,774	463,331	843,879	324,651	46,835	57,331	79,846
	RJ	253,922	768,697	19,439	7,220	3,562	779	1,270
	RN	0	0	0	0	0	663	0
	RS	41,062	157,674	53,357	34,203	26,878	4,614	4,213
	SC	825,498	344,553	202,641	52,346	52,286	17,245	20,488
	SE	0	0	0	0	0	10,468	4,011
	SP	51,251	3,691	239,464	5,369	7,412	1,298	1,241
Pampa	RS	3,209,972	3,495,866	3,959,440	1,046,835	1,196,766	4,565,594	8,482,940
Pantanal	MS	1,663,361	1,401,642	1,358,707	1,338,103	1,222,795	1,091,524	1,504,699
	MT	488,877	760,553	1,032,099	718,558	692,711	549,136	335,605

- **Remoções em áreas protegidas**

A Tabela 9 apresenta as remoções de CO₂ contabilizadas em áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) por bioma no período de 1990 a 2019 (Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio, 2017) no método *proxy*.

Tabela 9. Remoções de tCO₂e (GWP-AR5) em áreas protegidas por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019 no método proxy.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	AC	-3,411,799	-4,521,981	-5,580,803	-8,791,518	-9,227,005	-9,578,537	-9,578,537
	AM	-16,205,772	-26,240,025	-54,027,125	-91,160,376	-110,369,182	-115,087,161	-118,977,663
	AP	-2,579,633	-3,272,680	-5,370,886	-10,478,906	-13,674,379	-13,674,379	-13,674,379
	MA	-1,868,604	-5,974,276	-5,974,755	-6,232,425	-6,228,826	-6,228,826	-6,372,997
	MT	-2,379,966	-9,067,814	-11,055,213	-12,679,938	-13,836,264	-15,487,857	-15,488,207
	PA	-12,153,154	-25,057,175	-38,976,138	-54,026,967	-89,725,085	-92,801,370	-92,957,238
	RO	-4,464,231	-8,588,954	-10,356,951	-11,513,267	-11,954,716	-12,272,805	-12,272,805
	RR	-2,408,430	-11,005,965	-13,533,477	-17,111,050	-20,002,131	-20,060,477	-20,585,504
	TO	0	-12,227	-16,643	-41,122	-41,098	-41,098	-41,098
Caatinga	AL	-34	-1,183	-1,183	-843	-6,825	-7,244	-7,244
	BA	-161,170	-277,222	-962,183	-642,551	-1,139,348	-1,141,700	-1,491,881
	CE	-43,405	-45,980	-564,085	-366,181	-381,872	-387,030	-389,805
	MA	0	0	-3	-2	-2	-2	-2
	MG	-43,842	-44,154	-139,578	-91,628	-111,871	-117,818	-117,818
	PB	-7,139	-7,139	-226,040	-176,873	-185,768	-231,285	-239,212
	PE	-57,480	-57,480	-932,436	-588,550	-588,550	-588,550	-588,582
	PI	-21	-607	-607	-17,525	-19,710	-19,710	-19,712
	RN	-9,348	-9,779	-17,790	-14,525	-14,731	-17,798	-17,798
	SE	0	-1,879	-1,879	-1,187	-3,559	-3,601	-3,601
Cerrado	BA	-107,637	-416,514	-416,699	-701,871	-1,822,898	-1,825,181	-1,825,235
	DF	-225,476	-229,423	-241,271	-655,008	-655,474	-655,790	-655,848
	GO	-396,531	-399,283	-604,270	-2,028,270	-2,066,580	-2,073,503	-2,136,290
	MA	-477,151	-1,642,028	-1,781,272	-2,706,930	-3,174,504	-3,276,250	-3,296,033
	MG	-565,343	-948,462	-1,107,652	-1,863,962	-1,911,951	-2,006,676	-2,072,345

	MS	-176,961	-186,910	-316,039	-380,885	-441,306	-481,710	-503,853
	MT	-1,646,500	-3,287,925	-4,927,318	-5,992,474	-6,098,205	-6,249,615	-6,249,627
	PA	0	-1,321	-2,645	-3,187	-24,175	-24,175	-24,175
	PI	-124,668	-124,801	-805,006	-1,180,671	-1,181,351	-1,181,351	-1,181,351
	PR	0	-162,101	-162,627	-186,146	-186,434	-186,434	-186,434
	RO	-85,777	-85,777	-85,777	-98,182	-98,182	-98,182	-98,182
	SP	-271,454	-310,051	-310,051	-404,531	-405,440	-406,238	-439,085
	TO	-446,208	-460,368	-3,752,535	-5,245,072	-5,814,526	-5,848,803	-5,848,803
Mata Atlântica	AL	-40,412	-44,200	-172,933	-181,501	-191,529	-201,376	-203,958
	BA	-76,138	-397,898	-599,632	-966,347	-1,253,814	-1,268,489	-1,270,346
	ES	-71,021	-91,850	-95,248	-118,150	-167,912	-173,692	-176,147
	GO	0	0	0	0	-958	-958	-1,831
	MG	-386,258	-563,474	-989,798	-1,166,229	-1,197,624	-1,567,367	-1,572,400
	MS	-4,199	-13,070	-831,714	-844,226	-901,781	-932,234	-935,339
	PE	-11,514	-11,514	-52,702	-52,804	-114,077	-123,504	-123,520
	PR	-556,708	-1,297,935	-1,703,680	-1,745,596	-1,836,735	-1,925,617	-1,926,413
	RJ	-408,604	-420,830	-453,351	-706,590	-860,264	-1,005,192	-1,039,270
	RN	-26,847	-28,710	-59,729	-60,047	-60,079	-60,079	-60,079
	RS	-72,305	-125,825	-215,458	-240,945	-247,373	-253,624	-253,850
	SC	-162,959	-193,252	-272,291	-399,700	-439,620	-456,237	-468,394
	SE	-3,892	-3,892	-3,892	-12,246	-13,186	-13,976	-14,153
	SP	-2,395,511	-2,812,721	-3,235,537	-3,509,688	-3,826,634	-3,888,258	-3,932,705
Pampa	RS	-164,997	-671,053	-868,965	-897,638	-901,590	-913,019	-913,790
Pantanal	MS	-343,939	-343,939	-448,846	-461,936	-489,522	-489,698	-500,710
	MT	-137,813	-147,992	-148,047	-352,163	-369,679	-369,683	-369,683

- **Remoções por vegetação secundária**

As remoções brutas de CO₂ por vegetação secundária por bioma no período de 1990 a 2019 no método *proxy* estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Remoções de tCO₂e (GWP-AR5) por vegetação secundária por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2019 no método proxy.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
-------	----	------	------	------	------	------	------	------

Amazônia	AC	-21,166	-21,166	-21,166	-413,510	-2,553,383	-2,553,383	-2,553,383
	AM	-724,352	-724,352	-724,352	-2,566,910	-10,040,270	-10,040,270	-10,040,270
	AP	-55	-55	-55	-10,697	-248,490	-248,490	-248,490
	MA	-1,289,441	-1,289,441	-1,289,441	-7,021,175	-5,812,802	-5,812,802	-5,812,802
	MT	-2,574,588	-2,574,588	-2,574,588	-9,554,120	-17,508,686	-17,508,686	-17,508,686
	PA	-7,098,816	-7,098,816	-7,098,816	-24,418,888	-27,216,483	-27,216,483	-27,216,483
	RO	-834,513	-834,513	-834,513	-5,228,965	-7,904,216	-7,904,216	-7,904,216
	RR	-294,938	-294,938	-294,938	-510,566	-1,173,173	-1,173,173	-1,173,173
	TO	-822,046	-822,046	-822,046	-2,337,869	-2,764,641	-2,764,641	-2,764,641
Caatinga	AL	0	0	0	-36,715	-26,191	-26,191	-26,191
	BA	0	0	0	-531,263	-465,631	-465,631	-465,631
	CE	0	0	0	-301,120	-262,243	-262,243	-262,243
	MA	0	0	0	-5,281	-5,281	-5,281	-5,281
	MG	0	0	0	-81,021	-73,756	-73,756	-73,756
	PB	0	0	0	-126,245	-116,650	-116,650	-116,650
	PE	0	0	0	-168,505	-155,525	-155,525	-155,525
	PI	0	0	0	-220,486	-206,453	-206,453	-206,453
	RN	0	0	0	-165,860	-157,943	-157,943	-157,943
	SE	0	0	0	-7,932	-5,065	-5,065	-5,065
Cerrado	BA	0	0	0	-1,429,617	-1,429,617	-1,429,617	-1,429,617
	DF	0	0	0	-2,975	-2,975	-2,975	-2,975
	GO	0	0	0	-415,206	-415,206	-415,206	-415,206
	MA	0	0	0	-1,005,919	-1,005,919	-1,005,919	-1,005,919
	MG	0	0	0	-862,102	-862,102	-862,102	-862,102
	MS	0	0	0	-142,084	-142,084	-142,084	-142,084
	MT	0	0	0	-453,698	-453,698	-453,698	-453,698
	PA	0	0	0	0	0	0	0
	PI	0	0	0	-172,210	-172,210	-172,210	-172,210
	PR	0	0	0	-435	-435	-435	-435
	RO	0	0	0	0	0	0	0
	SP	0	0	0	-116,818	-116,818	-116,818	-116,818
	TO	0	0	0	-336,773	-336,773	-336,773	-336,773

Mata Atlântica	AL	0	0	0	-26,758	-26,758	-26,758	-26,758
	BA	0	0	0	-505,603	-505,603	-505,603	-505,603
	ES	0	0	0	-140,991	-140,991	-140,991	-140,991
	GO	0	0	0	-54,301	-54,301	-54,301	-54,301
	MG	0	0	0	-3,388,615	-3,388,615	-3,388,615	-3,388,615
	MS	0	0	0	-382,915	-382,915	-382,915	-382,915
	PB	0	0	0	0	0	0	0
	PE	0	0	0	-804	-804	-804	-804
	PR	0	0	0	-5,015,556	-5,015,556	-5,015,556	-5,015,556
	RJ	0	0	0	-9,103	-9,103	-9,103	-9,103
	RN	0	0	0	-36,155	-36,155	-36,155	-36,155
	RS	0	0	0	-425,799	-425,799	-425,799	-425,799
	SC	0	0	0	-1,404,714	-1,404,714	-1,404,714	-1,404,714
	SE	0	0	0	0	0	0	0
	SP	0	0	0	-1,615,112	-1,615,112	-1,615,112	-1,615,112
Pampa	RS	0	0	0	-208,175	-208,175	-208,175	-208,175
Pantanal	MS	0	0	0	-33,805	-33,805	-33,805	-33,805
	MT	0	0	0	-232,157	-232,157	-232,157	-232,157

- **Remoções por mudanças de uso da terra**

A Tabela 11 apresenta as remoções brutas de CO₂ em decorrência de alterações do uso da terra por bioma no período de 1990 a 2019 no método *proxy*.

Tabela 11. Remoções brutas de tCO₂e (GWP-AR5) por alterações do uso da terra por bioma a cada cinco anos no período de 1990 a 2019 no método proxy.

Bioma	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	-3,982,163	-3,982,163	-3,982,163	-1,950,400	-5,261,360	-5,261,360	-5,261,360
Caatinga	-3,329,525	-3,329,525	-3,329,525	-24,448,850	-24,448,850	-24,448,850	-24,448,850
Cerrado	-6,497,600	-6,497,600	-6,497,600	-30,621,663	-30,621,663	-30,621,663	-30,621,663

Mata Atlântica	-7,731,788	-7,731,788	-7,731,788	-45,646,550	-45,646,550	-45,646,550	-45,646,550
Pampa	-559,988	-559,988	-559,988	-7,568,563	-7,568,563	-7,568,563	-7,568,563
Pantanal	-82,650	-82,650	-82,650	-256,675	-256,675	-256,675	-256,675

- **Emissões líquidas para o setor de mudanças de uso da terra (MUT)**

O total de emissões líquidas para todo o setor, segundo o método *proxy*, está apresentado por bioma na tabela 12, para o período de 1990 a 2019.

Tabela 12. Total líquido de emissões para cada bioma a cada cinco anos no período de 1990 a 2019, segundo o método proxy.

Bioma	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Amazônia	737,947,837	1,584,031,702	904,310,072	1,214,705,078	178,096,380	107,468,931	204,068,169
Caatinga	49,208,137	32,271,348	32,960,060	20,438,950	25,239,405	19,811,378	-1,642,051
Cerrado	349,770,316	377,974,739	306,394,204	272,810,885	126,701,771	159,795,675	65,099,225
Mata Atlântica	52,969,296	46,804,301	37,545,001	-44,981,815	-59,484,261	-58,042,726	-62,907,638
Pampa	140,794,580	152,892,892	173,132,756	14,578,239	17,904,600	92,722,580	54,207,314
Pantanal	26,436,689	26,551,430	29,314,525	22,541,943	20,857,966	17,666,712	19,484,936

Referências

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Relatório técnico.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2016. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Projeto MapBiomas – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em agosto de 2020, através do link: <http://mapbiomas.org/>).

Anexo 2 - Desafios para cálculo das emissões de queimadas não associadas ao desmatamento

Queimadas não associadas ao desmatamento são uma das principais perturbações em áreas de vegetação nativa, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), tais como CO₂, CO, CH₄, NO_x, N₂O, e afetando processos climáticos locais a globais (Yamasoe et al., 2000; Alencar et al., 2006; Artaxo et al., 2006). As emissões e os impactos dessas queimadas são distintos entre biomas e a depender do tipo de vegetação (fitofisionomia), época do ano, frequência e intensidade da queima, fazendo com que seja mais desafiador a sua contabilidade.

Embora parte das emissões causadas por queimadas de origem antrópica não associadas ao desmatamento seja revertida pelo processo de regeneração da vegetação, com fixação de carbono atmosférico, os regimes observados, com frequência e intensidades crescentes, comprometem essa remoção potencial ao danificar a vegetação regenerante sucessivamente. Esse processo tem se agravado, aumentando as emissões em relação às remoções e, assim, tornando crítica a necessidade de contabilizar as emissões resultantes (líquidas).

No Relatório de Referência sobre mudança de uso da terra do Terceiro Inventário (MCTI, 2015) é apresentado um estudo sobre a área afetada por queimadas em 2010 nos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia, servindo de base para estabelecer fatores de emissões. Isso permitiu uma primeira estimativa das emissões por queimadas não associadas ao desmatamento descritas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1. Emissões de GEE referentes às queimadas não associadas ao desmatamento nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga no Brasil, em 2010. Fonte: MCTI, 2015.

Bioma	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
	Gg				
Amazônia	67.249	4.426,5	289,4	8,51	68,1
Cerrado	172.632	6.956,6	246,2	22,48	417,4
Caatinga	5.696	229,5	8,1	0,74	13,8

Estas emissões, apesar de significativas, não foram ainda incorporadas nos inventários por três motivos que demandam melhorias metodológicas:

- (i) as emissões de CO₂ podem ser revertidas dependendo das condições de regeneração da vegetação natural e apenas o acompanhamento desta regeneração permitirá indicar se há ou não neutralidade no processo;
- (ii) com relação aos demais gases, havia falta de dados históricos para incorporar o dado no inventário; e

(iii) não foi possível avaliar a trajetória sucessional ou de transição de uso nas áreas queimadas ao longo da série histórica para garantir consistência temporal da série de Inventários Nacionais a esse tipo de emissões (MCTI, 2015).

Em resumo, a ausência de dados históricos sobre área afetada por queimadas no Brasil e sua trajetória sucessional é o principal fator que impediu a incorporação desta fonte nas estimativas oficiais de emissões de GEE.

Apesar de fundamental, o mapeamento sistemático da área queimada no Brasil ainda representa um grande desafio. Para que os incêndios sejam capturados em suas diversas situações, dependendo do tipo de vegetação afetada e época da queima, faz-se necessário uma maior frequência temporal e uma melhor resolução espacial dos dados de satélite utilizados nesse mapeamento. Dados de satélite mais frequentes de cicatrizes de incêndios possibilitam o mapeamento de áreas queimadas em tipos de vegetação arbustivas e gramíneas como as que ocorrem no Cerrado, pois o sinal das mesmas desaparecem em poucas semanas. Já uma melhor resolução espacial dos dados de satélite facilita a captura das áreas queimadas por incêndios florestais, que afetam principalmente as bordas das áreas de floresta densa da Amazônia (Alencar et al., 2015).

Método

Como um primeiro passo, para detecção da ocorrência e frequência das áreas queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil, foram combinados os dados disponíveis do sensor MODIS de área queimada entre 2000 a 2019 com mapas de vegetação nativa (formações florestais, savânicas e não florestais) por bioma da Coleção 5.0 do MapBiomias.

Foi utilizado o produto MCD45A1 (*Burned Area Monthly*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dos satélites Terra e Aqua da NASA, que representa áreas queimadas com resolução espacial de 500 m, disponível na página web da NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov>) a partir de 2000. Esses dados oferecem uma resolução temporal apropriada (captura diária de dados) para o mapeamento dos incêndios, principalmente em tipos de vegetação nativa não florestal, mas sua resolução espacial (500 m) apresenta dificuldades em capturar pequenos incêndios, portanto subestimando a área afetada por incêndios (Alencar et al., 2011).

Para o mapeamento das vegetações nativas associadas às áreas queimadas foram utilizados os mapas anuais de uso e cobertura da terra no Brasil no mesmo período de mapeamento das áreas queimadas, entre 2000 a 2019, da Coleção 5.0 do MapBiomias (www.mapbiomas.org). Visto que essa é a informação mais recente disponível para todo o país, mas que ainda está em processo de melhoria, principalmente em relação às variações do mapeamento dos tipos de vegetação nativa (florestal, savânica e campestre) entre os anos mapeados.

Após o cálculo das áreas queimadas anualmente por tipo de vegetação e bioma, para as estimativas de emissões de GEE de queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil foi aplicada a seguinte equação baseada nos valores de área queimada, biomassa acima do solo,

fatores de combustão e emissão por tipo de vegetação (floresta, savana e campo) por bioma (segundo IPCC 2006, Volume 4, Capítulo 2 e utilizada no Terceiro Inventário Nacional):

EQUATION 2.27
ESTIMATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM FIRE

$$L_{fire} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

Where:

L_{fire} = amount of greenhouse gas emissions from fire, tonnes of each GHG e.g., CH₄, N₂O, etc.

A = area burnt, ha

M_B = mass of fuel available for combustion, tonnes ha⁻¹. This includes biomass, ground litter and dead wood. When Tier 1 methods are used then litter and dead wood pools are assumed zero, except where there is a land-use change (see Section 2.3.2.2).

C_f = combustion factor, dimensionless (default values in Table 2.6)

G_{ef} = emission factor, g kg⁻¹ dry matter burnt (default values in Table 2.5)

Note: Where data for M_B and C_f are not available, a default value for the amount of fuel actually burnt (the product of M_B and C_f) can be used (Table 2.4) under Tier 1 methodology.

Baseado no Terceiro Inventário Nacional, foram utilizados e adaptados os valores de biomassa acima do solo e dos fatores de combustão para cada tipo de vegetação (formações florestais, savânicas e campestres) e bioma (Tabelas 2 e 3), além dos os fatores de emissão para GEE, segundo IPCC (2006) e também adotados no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015) (Tabela 4).

Tabela 2. Valores de biomassa acima do solo das formações florestais, savânicas e não florestais por bioma no Brasil. Fonte: adaptado de MCTI, 2015.

Bioma	Tipo de Vegetação	Biomassa (t/ha)	Fonte
Amazônia	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	6,70	Média dos valores de biomassa das fitofisionomias campestres (Lb, Lg, Rm, Sg, Sp, Tg, Tp) na Amazônia
Cerrado	Formação Florestal	124,58	Valor de biomassa para vegetação florestada no Cerrado
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)

Mata Atlântica	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)
Caatinga	Formação Florestal	88,07	Média dos valores de biomassa de formações florestais na Caatinga (C, F, Sd, Td)
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	10,81	Valor de biomassa para vegetação arbustiva na Caatinga
Pampa	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)
Pantanal	Formação Florestal	124,58	Valor de biomassa para vegetação florestada no Cerrado
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)

Tabela 3. Fatores de combustão utilizados para as formações florestais, savânicas e campestres por bioma no Brasil. Fonte: adaptado de MCTI, 2015.

Bioma	Tipo de Vegetação	Fator de Combustão (%)	Fonte
Amazônia	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998

	Formação Natural não Florestal	65,5	Terceiro Inventário Nacional, Barbosa & Fearnside, 2005
Caatinga	Formação Florestal Natural	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Cerrado	Formação Florestal Natural	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Mata Atlântica	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Pampa	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Pantanal	Formação Florestal Natural	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998

Tabela 4. Fatores de emissão para gases de efeito estufa para florestas tropicais, savanas e campos (g kg⁻¹ de matéria seca queimada). Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2015.

Gases	Florestas tropicais	Savanas e campos
CO ₂	1580	1613
CO	104	65
CH ₄	6,8	2,3

N ₂ O	0,2	0,21
NO _x	1,6	3,9

Resultados

Entre os biomas e para todos os anos considerados, a maior ocorrência de áreas queimadas se encontra no bioma Cerrado (Figura 1). Esses incêndios, que afetam principalmente a vegetação savânica e campestre do bioma, têm-se concentrado nas frentes de expansão da agricultura como na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, nos estados de Mato Grosso e Tocantins, e na região de Matopiba, nas divisas entre os Estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia, áreas que apresentam também maiores taxas de desmatamento (Spera et al., 2016). Por outro lado, o bioma Pampa foi o que menos queimou.

A Amazônia apresenta o segundo lugar em maior extensão de áreas afetadas por incêndios, seguida do Cerrado em primeiro lugar (Figura 1). Os anos de 2007 e 2010 também marcaram períodos em que a Amazônia sofreu recordes de seca. Entretanto, a área queimada nesses anos não atingiu as proporções de 2017, provavelmente em decorrência do período de chuva nos anos anteriores a este El Niño terem sido fracos e insuficientes para recarregar os solos entre uma seca e outra, deixando um déficit hídrico no solo que se acentuou com a seca. Além de condições climáticas, outros fatores antrópicos, como a fragmentação florestal causada pelo desmatamento e a exploração madeireira têm agido de forma sinérgica, aumentando o risco de incêndios (Alencar et al., 2004; Alencar et al., 2015; Fonseca et al., 2017).

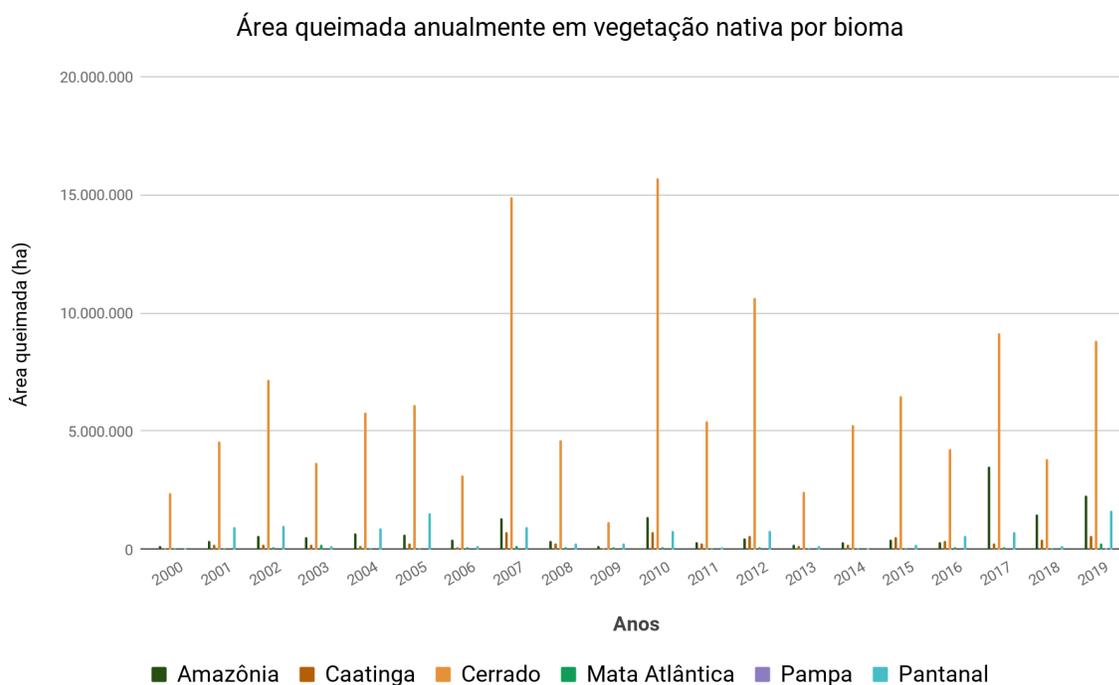


Figura 1. Área queimada (hectares) em vegetação nativa remanescente por bioma no período de 2000 a 2019. (FONTE: MapBiomas; MODIS-NASA).

Cerca de 4,87 bilhões de gigagramas (Gg) de CO₂ foram emitidas por queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil entre 2000 a 2019. Assim como em áreas queimadas, o Cerrado foi o bioma que mais emitiu GEE (2,61 bilhões de Gg de CO₂) em relação aos outros biomas (Tabelas 4 e 5), seguido da Amazônia, que emitiu 1,73 bilhões de Gg de CO₂ no período. Neste período de 20 anos, o ano de 2017 foi o que apresentou a maior emissão de CO₂ com 776 mil Gg de CO₂. Os anos de 2007, 2010 e recentemente em 2019 também foram recordes, especialmente para a Amazônia (Tabela 5). No entanto, é de se esperar que grande parte do CO₂ emitido por queimas não associadas ao desmatamento seja compensado pelas remoções de CO₂ pela recuperação da vegetação pós-fogo.

Dessa maneira, a Tabela 5 e a Figura 2 apresentam também as estimativas de emissões de gases não CO₂ (CO, CH₄, N₂O e NO_x) de queimadas não associadas a desmatamento entre 2000 a 2019 por bioma no Brasil. Esses gases não CO₂ contribuem para as emissões líquidas brasileiras e deveriam ser incorporados na contabilidade das estimativas nacionais, já que não são reabsorvidos pela vegetação após o fogo.

Tabela 5. Emissões de CO₂ e de gases não CO₂ (CO, CH₄, N₂O e NO_x) provenientes de queimadas não associadas a desmatamento entre 2000 a 2019 por bioma no Brasil.

Ano	Emissões de queimadas não associadas ao desmatamento por bioma					
	CO ₂ (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	9.015,7	1.042,0	43.092,2	1.517,6	16,8	936,4
2001	22.463,8	3.639,1	92.017,5	2.504,0	192,6	21.370,6
2002	57.997,4	3.567,0	150.554,4	4.939,7	77,4	22.586,5
2003	31.447,0	4.139,4	68.020,0	12.572,1	133,4	3.071,7
2004	54.477,1	3.140,2	115.646,0	3.402,6	223,4	19.752,0
2005	49.291,2	5.547,0	114.789,3	4.437,5	337,9	34.479,0
2006	30.775,2	1.649,8	54.677,8	3.495,5	156,3	3.089,0
2007	145.690,1	15.152,1	325.099,7	12.086,6	158,0	23.983,5
2008	25.983,7	4.488,9	84.893,2	6.138,6	127,1	5.532,1
2009	6.441,2	1.130,4	19.310,6	3.008,4	212,2	4.655,9
2010	152.940,5	14.740,3	345.937,0	7.109,2	136,5	19.983,2
2011	21.033,1	4.286,4	105.312,2	7.904,2	161,8	2.619,8
2012	46.163,1	12.470,2	226.693,2	5.996,9	144,6	15.655,2
2013	13.802,6	2.899,4	46.667,1	3.748,2	595,3	2.663,1
2014	27.254,8	3.597,1	111.276,6	9.704,8	369,1	382,7
2015	44.852,2	10.081,5	136.299,1	6.489,8	279,1	3.572,1
2016	39.640,4	8.010,9	88.947,9	8.125,4	709,1	8.731,5

2017	515.794,9	6.637,1	221.544,3	13.194,9	428,6	18.721,6
2018	184.015,4	7.935,5	72.250,1	5.891,4	83,1	2.851,6
2019	259.889,1	11.257,1	191.516,1	24.694,9	823,9	28.795,6
Total	1.738.968,7	125.411,3	2.614.544,1	146.962,4	5.366,1	243.433,4
Ano	CO (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	572,5	43,9	2.097,4	95,5	1,0	572,5
2001	1.439,0	153,4	4.517,8	2.861,4	11,6	1.439,0
2002	3.758,8	153,3	7.712,5	5.547,8	4,3	3.758,8
2003	2.019,2	173,3	3.344,9	14.437,1	8,1	2.019,2
2004	3.513,8	132,8	5.847,2	3.850,6	13,9	3.513,8
2005	3.178,6	248,2	5.667,2	4.799,3	20,9	3.178,6
2006	1.981,8	68,5	2.686,8	4.070,6	9,7	1.981,8
2007	9.468,7	673,0	16.731,8	13.157,8	9,9	9.468,7
2008	1.674,7	194,9	4.224,3	6.777,7	6,6	1.674,7
2009	406,9	47,0	917,2	3.670,0	13,4	406,9
2010	9.938,8	643,0	17.928,3	7.753,2	8,4	9.938,8
2011	1.349,5	174,8	5.206,7	8.307,5	10,2	1.349,5
2012	3.000,0	592,5	11.522,4	6.730,0	8,4	3.000,0
2013	889,6	122,1	2.305,8	3.959,7	38,0	889,6
2014	1.769,4	155,4	5.768,9	10.112,8	23,8	1.769,4
2015	2.919,4	455,4	6.872,3	6.804,6	18,0	2.919,4
2016	2.587,2	386,6	4.689,2	8.647,9	45,3	2.587,2
2017	33.802,1	340,8	12.111,6	14.029,9	26,3	33.802,1
2018	12.033,4	361,5	3.658,9	6.204,7	4,8	12.033,4
2019	16.945,0	489,3	9.645,2	26.728,1	51,7	16.945,0
Total	113.248,2	5.609,9	133.456,3	158.546,1	334,2	113.248,2
Ano	CH₄ (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	36,4	1,7	102,1	6,0	0,1	2,6
2001	92,2	6,0	222,5	9,9	0,7	64,2
2002	243,0	6,2	400,2	19,8	0,2	67,6
2003	129,6	6,6	165,1	49,4	0,5	8,0
2004	226,3	5,2	298,7	13,5	0,9	57,0
2005	204,7	10,7	281,1	18,3	1,3	103,4
2006	127,5	2,6	132,5	13,6	0,6	8,8
2007	613,4	28,6	873,0	49,6	0,6	73,4
2008	107,8	8,0	211,6	24,9	0,4	16,0

2009	25,8	1,8	43,2	11,2	0,9	13,7
2010	643,8	26,5	942,9	29,1	0,5	62,4
2011	86,6	6,3	258,7	33,3	0,6	7,9
2012	194,3	27,9	592,4	24,0	0,5	47,3
2013	57,3	4,7	114,5	15,7	2,4	7,6
2014	114,5	6,3	303,5	41,2	1,5	0,9
2015	189,3	19,9	349,9	27,4	1,2	9,1
2016	168,1	18,6	251,4	33,9	2,9	20,8
2017	2.203,1	17,7	674,9	55,1	1,6	57,6
2018	783,1	16,0	187,3	24,8	0,3	8,3
2019	1.100,3	20,1	490,4	101,8	3,3	81,5
Total	7.347,1	241,5	6.895,9	602,6	21,0	718,3
Ano	N₂O (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	1,1	0,1	5,6	0,2	0,0	0,1
2001	2,8	0,5	11,9	0,3	0,0	2,7
2002	7,3	0,5	19,4	0,6	0,0	2,9
2003	4,0	0,5	8,8	1,6	0,0	0,4
2004	6,9	0,4	14,9	0,4	0,0	2,5
2005	6,2	0,7	14,8	0,6	0,0	4,4
2006	3,9	0,2	7,1	0,4	0,0	0,4
2007	18,5	2,0	41,8	1,5	0,0	3,1
2008	3,3	0,6	10,9	0,8	0,0	0,7
2009	0,8	0,1	2,5	0,4	0,0	0,6
2010	19,4	1,9	44,5	0,9	0,0	2,6
2011	2,7	0,6	13,6	1,0	0,0	0,3
2012	5,8	1,6	29,2	0,8	0,0	2,0
2013	1,7	0,4	6,0	0,5	0,1	0,3
2014	3,5	0,5	14,3	1,2	0,0	0,0
2015	5,7	1,3	17,5	0,8	0,0	0,5
2016	5,0	1,0	11,4	1,0	0,1	1,1
2017	65,3	0,9	28,4	1,7	0,1	2,4
2018	23,3	1,0	9,3	0,7	0,0	0,4
2019	32,9	1,5	24,7	3,1	0,1	3,7
Total	220,3	16,2	336,4	18,6	0,7	31,2
Ano	NO_x (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	10,3	2,4	84,3	1,8	0,0	1,7

2001	24,9	8,4	177,9	3,0	0,3	35,2
2002	62,0	8,1	273,4	5,7	0,1	37,3
2003	34,6	9,6	131,2	15,0	0,2	5,6
2004	59,1	7,2	214,3	4,0	0,3	33,7
2005	53,5	12,1	220,2	4,9	0,4	56,9
2006	33,6	3,9	105,6	4,3	0,2	5,3
2007	154,2	33,2	586,2	13,4	0,2	38,9
2008	28,3	10,1	161,0	7,0	0,2	9,4
2009	7,5	2,7	39,0	3,9	0,2	7,8
2010	161,9	32,9	616,9	7,9	0,2	31,7
2011	23,2	10,3	201,6	8,3	0,2	4,3
2012	48,9	25,2	416,7	6,9	0,2	25,7
2013	15,0	6,7	89,4	4,0	0,7	4,6
2014	29,0	8,1	198,3	10,1	0,4	0,8
2015	47,2	21,7	253,6	6,8	0,3	6,7
2016	41,4	15,9	154,2	8,7	0,8	17,0
2017	530,5	12,0	360,4	14,2	0,5	30,2
2018	190,7	16,9	133,5	6,2	0,1	4,8
2019	272,1	25,3	356,9	27,2	1,0	49,9
Total	1.827,9	272,6	4.774,8	163,4	6,5	407,3

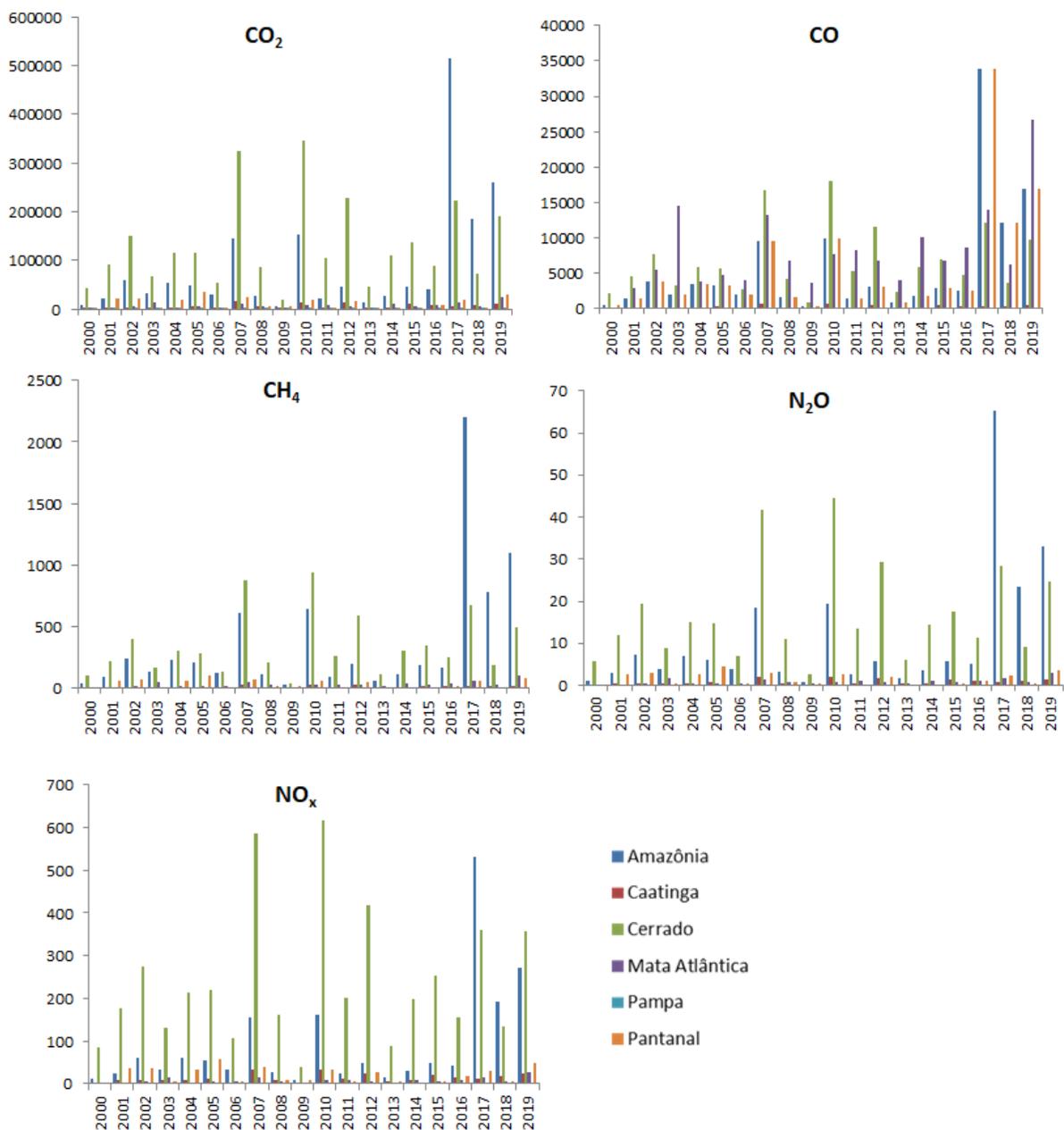


Figura 2. Emissões brutas em Gg por queimadas não associadas a desmatamento no Brasil entre 2000 a 2019, considerando CO₂ e gases não CO₂ com potencial de aquecimento (CH₄, e N₂O) e com potencial poluente (CO e NO_x).

Por outro lado, após a queima da biomassa da vegetação nativa, futuras remoções de CO₂ do processo de regeneração e incremento da biomassa também devem ser contabilizadas, que dependem da capacidade de regeneração dos diferentes tipos de vegetação nativa e das condições ambientais. Queimadas frequentes também reduzem o incremento e a resiliência da vegetação. Desse modo, o monitoramento do processo de regeneração após o fogo e da transição de uso e cobertura destas áreas também deve ser acompanhado ao longo do período

dos inventários nacionais (MCTI, 2015). O projeto MapBiomass também poderá contribuir no acompanhamento desse processo de regeneração.

Apesar de estas estimativas utilizarem os melhores e mais atualizados dados disponíveis gratuitamente sobre área queimada e vegetação nativa, ainda há incertezas associadas ao mapeamento de áreas queimadas e dos remanescentes de diferentes tipos de vegetação nativa (de florestais, savânicas a não florestais) no Brasil, como também outras incertezas e generalizações estão associadas aos parâmetros (fatores de combustão, fatores de emissão, estimativas de biomassa/combustível, carbono orgânico no solo, este último não contabilizado aqui) utilizados nas estimativas de emissões de queimadas não associadas a desmatamento. Além disso, a época do ano e a frequência do fogo também contribuem para essas incertezas associadas às emissões e remoções de GEE. Tais incertezas, com altos valores de emissões de GEE onde não são contabilizadas as remoções associadas posteriores, estão sendo trabalhadas para reduzi-las na próxima versão do SEEG, além das estimativas de emissões de GEE de queimadas não associadas a desmatamento para os estados brasileiros.

Espera-se também para os próximos inventários nacionais que o monitoramento oficial das cicatrizes de fogo em áreas de vegetação nativa se amplie para todos os biomas ao longo do período considerado nos inventários e que a regionalização e detalhamento desses parâmetros sejam utilizados nas próximas estimativas de emissões de queimadas não associadas ao desmatamento.

Referências

- Alencar, A., Nepstad, D., Diaz, M. C. V. 2006. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*, 10(6), 1-17.
- Alencar, A.; Asner, G. P. ; Knapp, D.; Zarin D. 2011. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, 21:2397-2412.
- Alencar, A. A., Brando, P. M., Asner, G. P., Putz, F. E. 2015. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological applications*, 25(6), 1493-1505.
- Artaxo P., Oliveira P.H., Lara L.L., Pauliquevis T. M., Rizzo L. V., Junior C. P., et al. 2006. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Rev. Bras Meteorol*, 21(3):168–22.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.

Spera, G. L., Galford, M. T., Coe, M. N., Macedo, J. F., Mustard. 2016. "Land-Use Change Affects Water Recycling in Brazil's Last Agricultural Frontier," *Global Change Biology*, 22: 3405–3413.

Yamasoe, M. A., Artaxo, P., Miguel, A. H., Allen, A. G. 2000. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1641-1653.

Anexo 3 - SEEG municípios: método para a contabilização das emissões e remoções a nível de municípios

O objetivo do SEEG 8 no setor MUT é obter estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa associadas às mudanças no uso da terra no Brasil e que sejam relacionáveis às regiões de interesse (anteriormente disponível para os, recortes territoriais biomas e estados), conforme descrito no corpo desta Nota Metodológica. Como as estimativas do SEEG 8 são baseadas em dados espacializados, em sua totalidade, foi então possível pela primeira vez regionalizar as estimativas de emissões e remoções a um nível de detalhamento para todos os municípios. Com esse objetivo, foi lançado o SEEG Municípios, disponível do site do SEEG (<http://seeg.eco.br/>) que traz as estimativas reportadas pelo SEEG por recortes territoriais para o Brasil, biomas, estados e, agora, para municípios.

A adaptação metodológica para geração dessas estimativas por municípios está descrita abaixo.

Adaptação metodológica

Como já descrito, o método de utilização da série temporal dos mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas como informação básica para a geração dos mapas de transição de uso da terra contém um detalhamento espacial sem precedentes, na escala de 30m de resolução. A única diferença necessária no método para gerar as estimativas de emissão para os municípios foi a inclusão de um mapa de municípios na contabilização zonal das transições ano a ano.

Dessa forma, as áreas de cada transição par a par foram calculadas por níveis “zonais”, representados por dois rasters: um em que o valor do pixel é o código que contém a identificação dos biomas, estados e municípios (geocódigo do IBGE de dez três algarismos, em que o primeiro algarismo define o bioma, e os dois seguintes definem o estado e os sete últimos, o município); e outro cujo valor do pixel indica dentro (1) e fora (0) de áreas protegidas (Unidades de Conservação do ICMBio e Terras indígenas da FUNAI), neste caso para contabilizar as remoções.

Antes e a partir desse passo, os cálculos das estimativas são exatamente iguais às descritas anteriormente no corpo deste documento.

Resultados

Nesse apêndice, são apresentados resultados dos maiores municípios emissores nacionais em 2018, considerando emissões brutas (Figura 1) e líquidas (Figura 4), e também dos municípios responsáveis pelos maiores níveis de remoção de gases de efeito estufa (Figuras 2 e 3). Também exploramos as trajetórias entre 1990 a 2019 daqueles municípios com maiores emissões de

gases de efeito estufa em 2018 no setor de mudanças de uso da terra no Brasil (Figura 5), como também apresentamos os dez municípios com maiores emissões brutas por bioma no Brasil em 2018 (Figura 6). É importante ressaltar que, para o setor de Mudanças de Uso da Terra, 100% das estimativas de emissões e remoções estaduais e nacionais foram alocadas nos municípios.

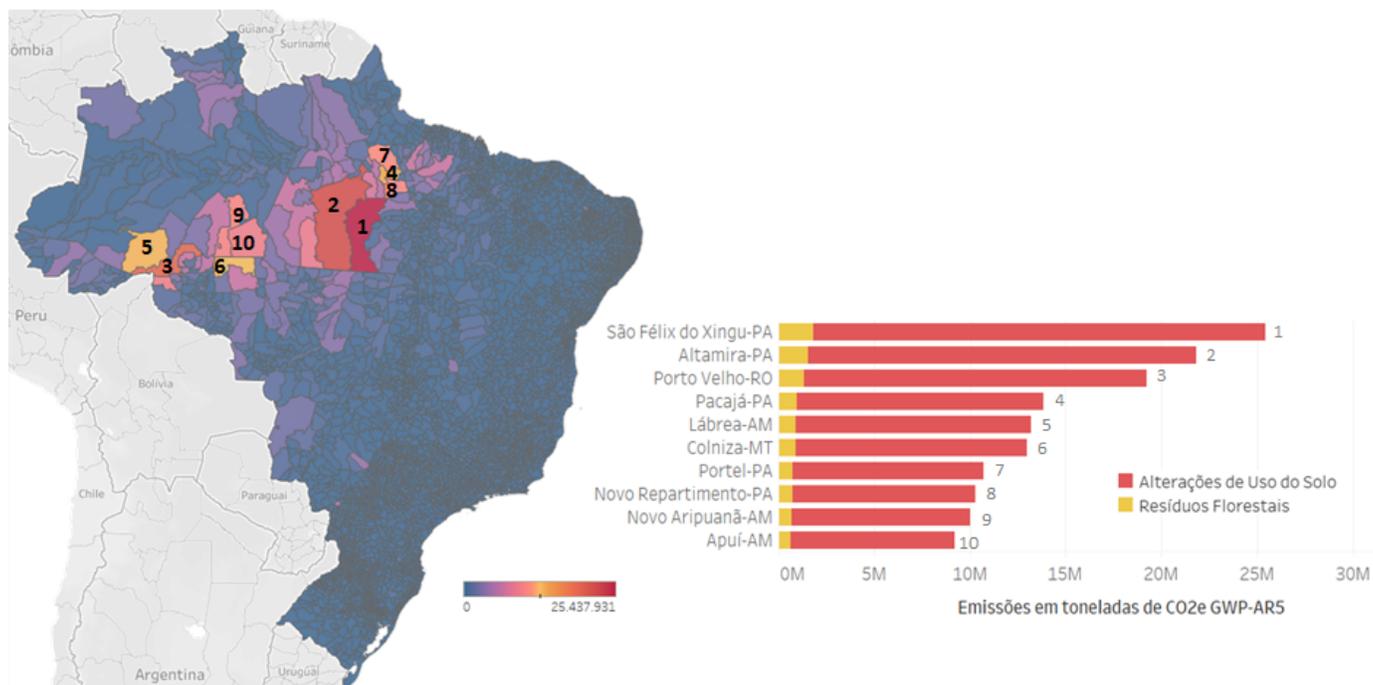


Figura 1. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões brutas) no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

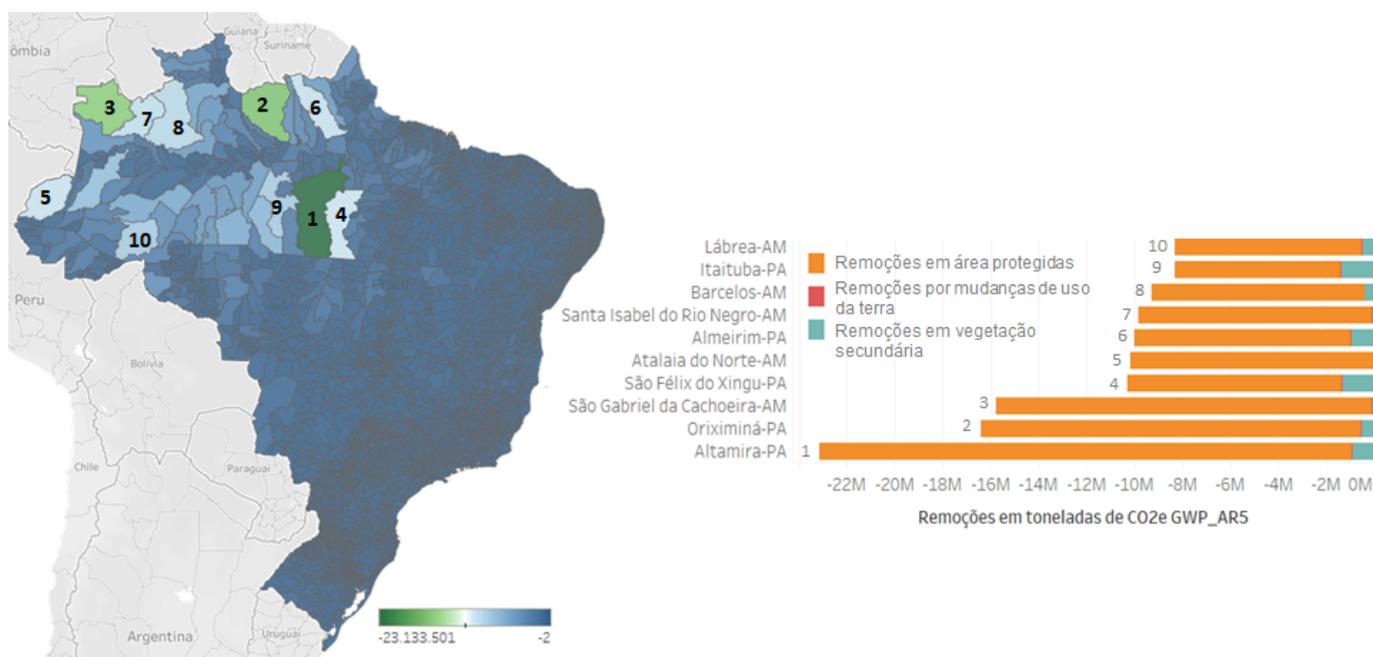


Figura 2. Dez municípios com maiores remoções brutas de gases de efeito estufa no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

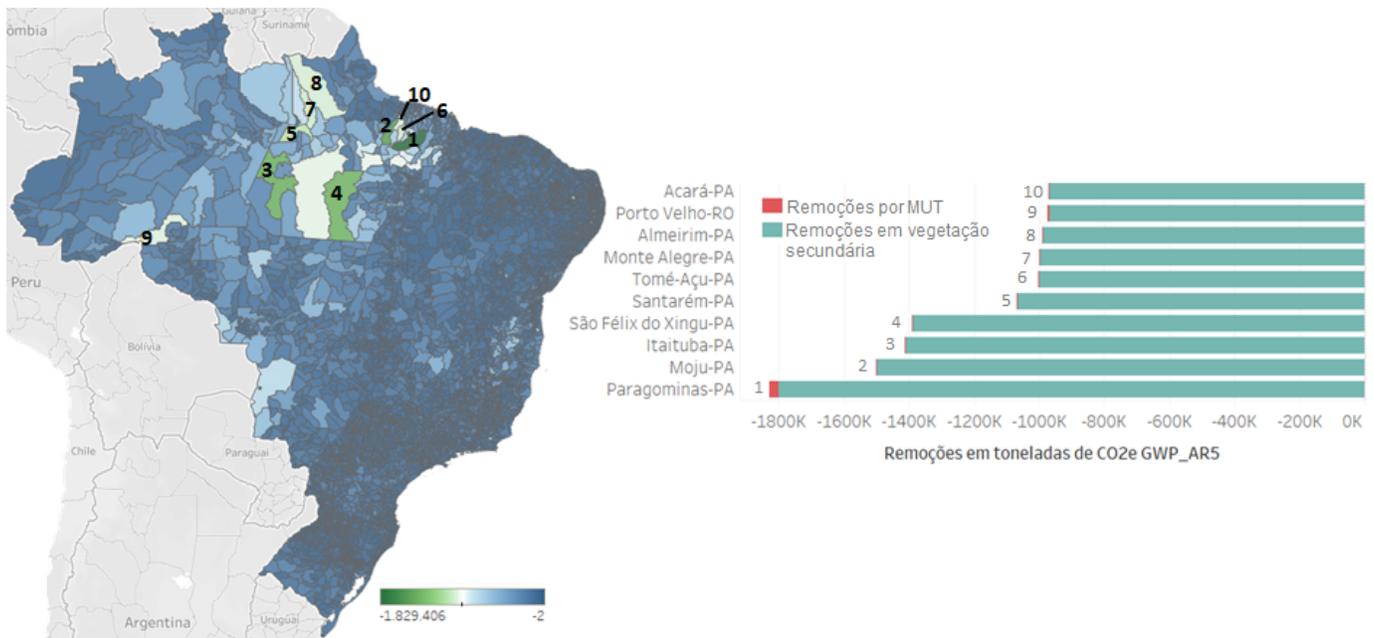


Figura 3. Dez municípios com maiores remoções brutas de gases de efeito estufa no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018, sem considerar as remoções em área protegida (Unidades de Conservação e Terras Indígenas).

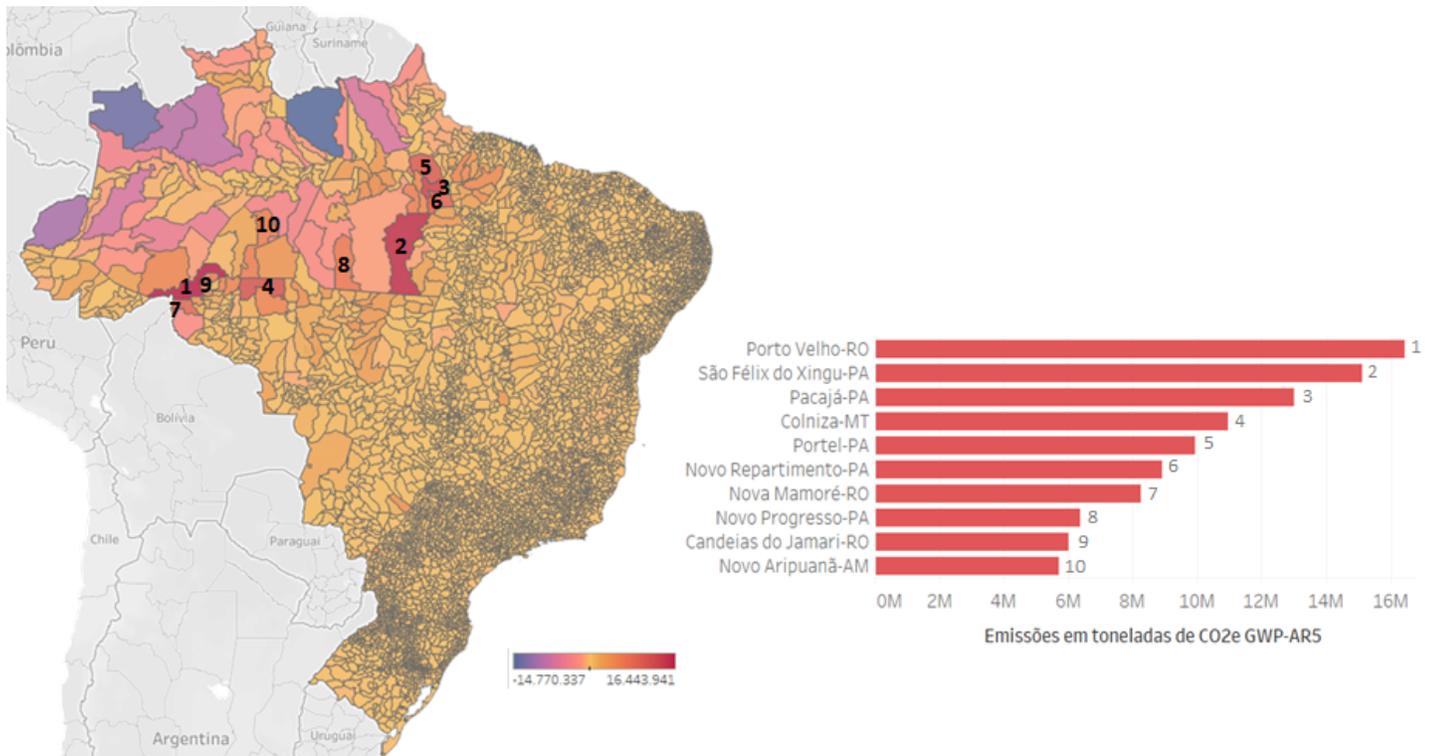


Figura 4. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões líquidas) no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

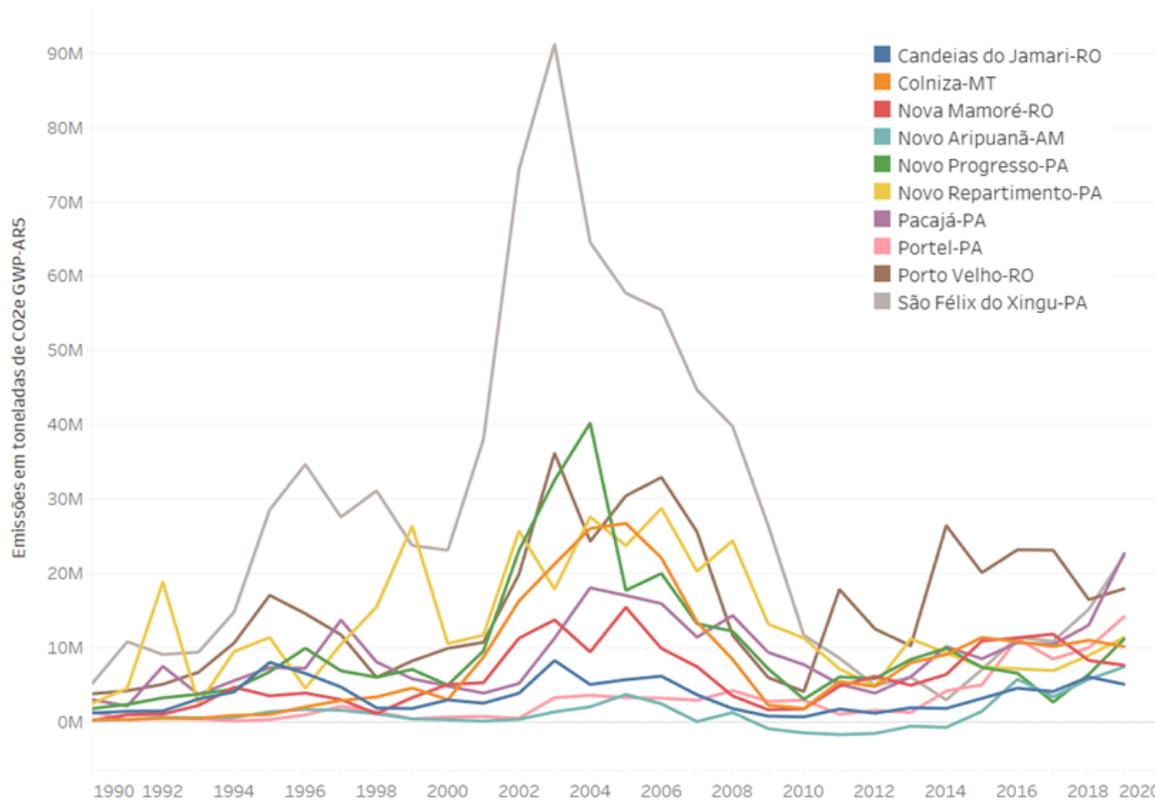


Figura 5. Trajetória dos dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões líquidas) em 2018 no setor de mudança de uso da terra no Brasil, no período de 1990 a 2019.

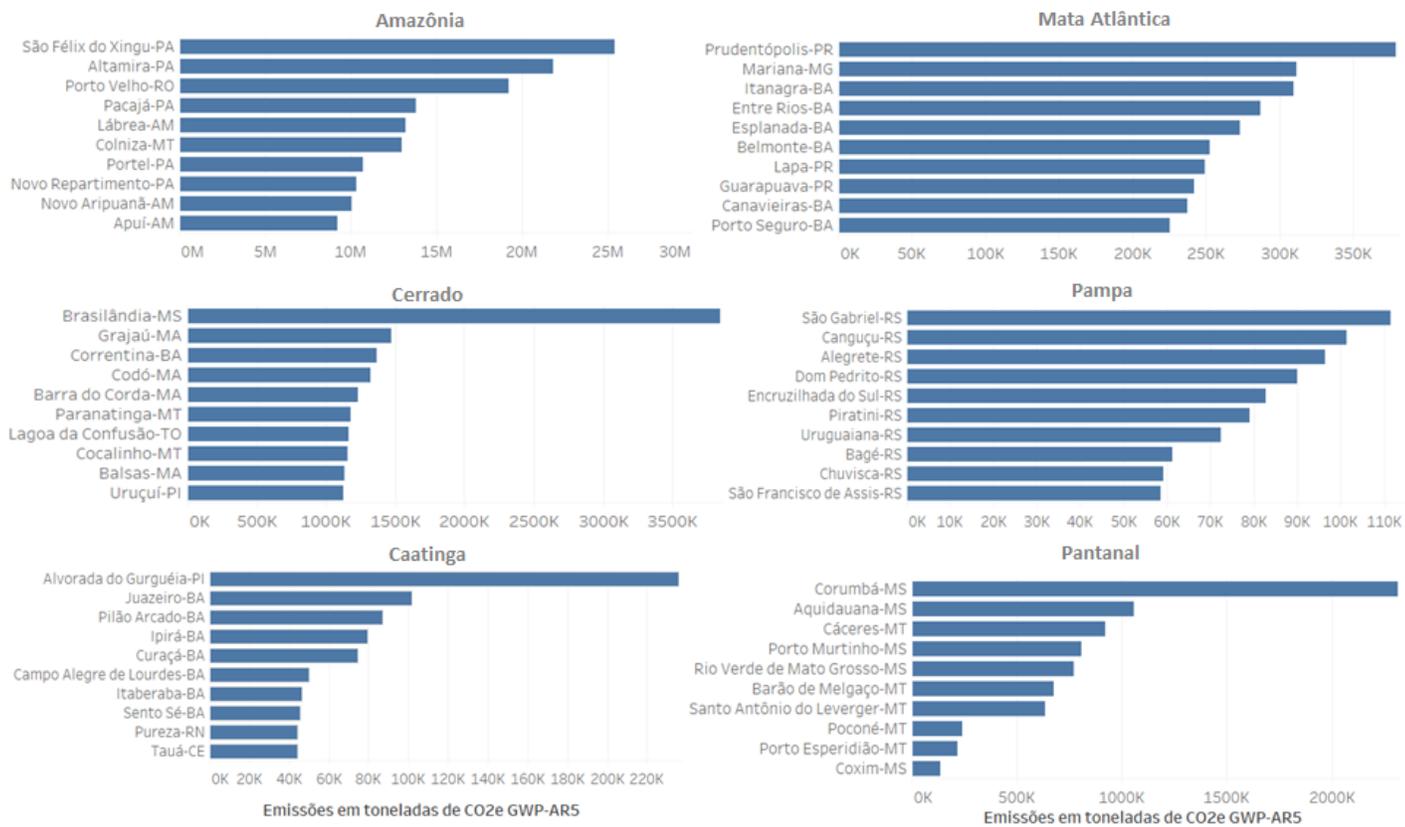


Figura 6. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões brutas) por bioma no Brasil em 2018, no setor de mudança de uso da terra.