REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

ANÁLISE DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NOS BIOMAS DO BRASIL DE 1990 A 2023

ANALYSIS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS AND REMOVALS IN BRAZILIAN BIOMES FROM 1990 TO 2023

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN LOS BIOMAS BRASILEÑOS DE 1990 A 2023

Bruna Naiure de Santana Souza
Discente Agronomia, Universidade Estadual de Feira de Santana-Bahia, Brasil
E-mail: naiurebruna@gmail.com

Maurício Santana Lordêlo
Professor Titular, Universidade Estadual de Feira de Santana-Bahia, Brasil
E-mail: mslordelo@uefs.br

Resumo

O Brasil é coberto por seis biomas com uma vasta biodiversidade, com o predomínio de vegetação nativa e formações de floresta. São eles Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. As diferentes mudanças no uso da terra e das florestas, influenciam diretamente o aumento ou a redução de dióxido de carbono (CO_2). Com os dados de emissões e remoções de CO_2 de 1990 a 2023, disponibilizados pela plataforma SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa), foi possível avaliar padrões de comportamento destas importantes medidas nos biomas brasileiros neste período. Para as emissões, a Amazônia e o Pantanal foram os únicos biomas que não apresentaram tendência decrescente significativa, pelo teste de Mann Kendall modificado. Para as remoções e emissões líquidas, o resultado deste teste indicou que todos os biomas diminuíram significativamente essas medidas no período analisado. A Caatinga foi o único bioma que registrou emissões líquidas negativas em alguns anos, implicando que as remoções superaram as emissões. Porém, ressalta-se um crescimento das emissões nos anos mais recentes deste bioma e do Pantanal. O agrupamento pelo método DTW identificou similaridades entre a Amazônia, o Cerrado e o Pampa; um padrão singular peculiar da Mata Atlântica; um padrão com similaridades entre a Caatinga e o Pantanal. No caso das remoções, os três grupos criados incluíram Amazônia a Mata Atlântica e o Pantanal no primeiro, a Caatinga no segundo grupo e o Pampa e o Cerrado formaram assim um terceiro grupo. Isso evidenciou uma diferença quando comparada a formação dos grupos pelas emissões. Estas associações observadas entre os biomas podem estar relacionadas não apenas a fatores socioeconômicos e ambientais, mas também à interligação territorial existente entre eles. Os resultados encontrados oferecem subsídios importantes para orientar estratégias de conservação dos biomas e de políticas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

públicas mais eficazes no enfrentamento das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Biomas; Emissões; Remoções; Dióxido de carbono; Mudanças Climáticas.

Abstract

Brazil is covered by six biomes with vast biodiversity, characterized by a predominance of native vegetation and forest formations. These biomes are the Amazon, Caatinga, Cerrado, Atlantic Forest, Pampa, and Pantanal. The various changes in land use and forests directly influence the increase or reduction of carbon dioxide (CO_2). Using CO_2 emission and removal data from 1990 to 2023, made available by the SEEG platform (Greenhouse Gas Emission and Removal Estimating System), it was possible to assess behavioral patterns of these important measures across Brazilian biomes during this period. For emissions, the Amazon and Pantanal were the only biomes that did not show a significant decreasing trend according to the modified Mann-Kendall test. For removals and net emissions, the test results indicated that all biomes significantly decreased these measures over the analyzed period. The Caatinga was the only biome that recorded negative net emissions in some years, implying that removals exceeded emissions. However, there has been a notable increase in emissions in recent years in this biome and in the Pantanal. Clustering using the DTW method identified similarities among the Amazon, Cerrado, and Pampa; a unique pattern for the Atlantic Forest; and a pattern with similarities between the Caatinga and Pantanal. Regarding removals, the three groups formed included the Amazon, Atlantic Forest, and Pantanal in the first group, the Caatinga in the second group, and the Pampa and Cerrado in the third group. This revealed a difference when compared to the grouping based on emissions. These observed associations among biomes may be related not only to socioeconomic and environmental factors but also to the territorial interconnections between them. The findings provide important insights to guide biome conservation strategies and more effective public policies in addressing climate change.

Keywords: Biomes; Emissions; Removals; Carbon dioxide; Climate change.

Resumen

Brasil está cubierto por seis biomas con una vasta biodiversidad, con predominio de vegetación nativa y formaciones forestales. Estos son la Amazonía, la Caatinga, el Cerrado, la Mata Atlántica, el Pampa y el Pantanal. Los diferentes cambios en el uso de la tierra y de los bosques influyen directamente en el aumento o la reducción del dióxido de carbono (CO_2). Con los datos de emisiones y eliminaciones de CO_2 de 1990 a 2023, disponibles en la plataforma SEEG (Sistema para la Estimación de Emisiones y Eliminaciones de Gases de Efecto Invernadero), fue posible evaluar los patrones de comportamiento de estas importantes medidas en los biomas brasileños durante este período. En cuanto a las emisiones, la Amazonía y el Pantanal fueron los únicos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

biomas que no presentaron una tendencia decreciente significativa según la prueba de Mann-Kendall modificada. Para las eliminaciones y las emisiones netas, el resultado de esta prueba indicó que todos los biomas disminuyeron significativamente estas medidas en el período analizado. La Caatinga fue el único bioma que registró emisiones netas negativas en algunos años, lo que implica que las eliminaciones superaron las emisiones. Sin embargo, se destaca un aumento de las emisiones en los años más recientes de este bioma y del Pantanal. El agrupamiento mediante el método DTW identificó similitudes entre la Amazonía, el Cerrado y el Pampa; un patrón singular propio de la Mata Atlántica; y un patrón con similitudes entre la Caatinga y el Pantanal. En el caso de las eliminaciones, los tres grupos creados incluyeron a la Amazonía, la Mata Atlántica y el Pantanal en el primero, a la Caatinga en el segundo grupo, y al Pampa y el Cerrado formaron así un tercer grupo. Esto evidenció una diferencia en comparación con la formación de grupos a partir de las emisiones. Estas asociaciones observadas entre los biomas pueden estar relacionadas no solo con factores socioeconómicos y ambientales, sino también con la interconexión territorial existente entre ellos. Los resultados encontrados ofrecen subsidios importantes para orientar estrategias de conservación de los biomas y políticas públicas más eficaces en el enfrentamiento del cambio climático.

Palabras clave: Biomas; Emisiones; Eliminaciones; Dióxido de carbono; Cambio climático.

1. Introdução

Diante do atual contexto de mudanças climáticas globais, observou-se uma crescente preocupação mundial em relação às emissões de dióxido de carbono (CO2) e outros gases de efeito estufa (GEE), como o metano (CH4) e o óxido nitroso (N2O), (Carvalho et al., 2010).

O efeito estufa é um fenômeno natural do planeta Terra; entretanto, tem sido intensificado pelas ações antrópicas. Em virtude do crescimento populacional, as necessidades humanas exacerbadas têm provocado alterações significativas na natureza, resultando em intervenções cada vez mais intensas e em impactos, muitas vezes, irreversíveis. Os ecossistemas, incluindo a vasta fauna e flora que compõem os biomas brasileiros, que deveriam atuar em equilíbrio, vem sendo severamente afetados por atividades antrópicas, tais como a agricultura comercial intensiva, as queimadas, o desmatamento, a industrialização, o crescimento urbano e o uso inadequado dos recursos naturais. Esses fatores contribuem diretamente para a degradação ambiental e para o

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

aquecimento global (LOPES et al., 2025).

A intensificação do efeito estufa, decorrente do aquecimento global, afeta as dimensões econômica, social e ecológica. Dados do Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), estima que as atividades antrópicas tenham provocado um aumento de aproximadamente 1,0 °C na temperatura média global em relação aos níveis pré-industriais, com projeções indicando que esse aquecimento pode atingir 1,5 °C entre 2030 e 2052, caso se mantenha o ritmo atual.

No âmbito brasileiro, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025) indicam crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de 2,3%, com ênfase no setor agropecuário, que apresentou expansão de 11,4%, seguido pelos setores de serviços (1,8%) e indústria (1,4%). Esse cenário evidencia a forte dependência da economia nacional em relação aos recursos naturais renováveis, que vem sendo explorados em taxas superiores à sua capacidade de regeneração (NEVES; MUEHE, 2008, p. 7-8). Nesse sentido, o aspecto ecológico e ambiental é diretamente impactado pelas atividades agropecuárias, que promovem alterações no uso da terra, na cobertura vegetal e nos ciclos biogeoquímicos, especialmente o ciclo do carbono, que uma vez desequilibrado, resulta no aumento do dióxido de carbono atmosférico (IZQUIERDO PÉREZ, 2022). Como consequência, tanto os sistemas naturais quanto os sistemas socioeconômicos tornam-se cada vez mais vulneráveis às mudanças climáticas (NEVES; MUEHE, 2008, p. 8).

A Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída no Brasil em 2009, estabeleceu metas nacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa e normas voltadas ao fortalecimento das remoções causadas por ações antrópicas pela conversão em sumidouros de carbono no âmbito nacional, bem como à conservação e à recuperação dos recursos ambientais, com destaque para os grandes biomas brasileiros, conforme a Lei Federal n° 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009). Nesse contexto, o conhecimento sobre os fluxos e estoques de carbono nos principais biomas do país torna-se imprescindível, especialmente nos mais vulneráveis às mudanças climáticas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

(BRASIL, 2009; MCTI, 2014 apud MORAIS et al., 2017).

O Brasil é coberto por seis biomas (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal) que constituem uma vasta biodiversidade, com o predomínio de vegetação nativa e formações florestais responsáveis pelo estoque de carbono, mas que estão atrelados às diferentes mudanças no uso da terra e das florestas, influenciando diretamente o aumento ou a redução de dióxido de carbono (SEEG, 2024). Segundo Bustamante et al. (2018, p. 2 *apud* Fearnside, 2000).

> O Brasil é um dos países mais importantes em termos de emissões associadas às mudanças no uso da terra e possui grandes áreas de vegetação nativa remanescente, representando fontes potenciais significativas de emissões. Os principais biomas brasileiros perderam quantidades significativas de cobertura vegetal, principalmente devido à conversão de ecossistemas naturais em pastagens e lavouras agrícolas, o que afeta seriamente a biodiversidade, bem como as emissões de GEE.

Para o monitoramento das emissões e remoções de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, o país conta com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), idealizado pelo Observatório do Clima, que compreende a produção de estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa. Essa plataforma disponibiliza dados de emissões e remoções de CO_2 para os seis biomas e por setores, incluindo o de Mudanças de Uso da Terra e Florestas, o qual foi analisado durante a presente pesquisa. Ainda de acordo com Bustamante *et al (*2018, p. 9).

> Para aumentar a conscientização pública sobre a contribuição do Brasil para as emissões e as ações de mitigação, a estrutura e a metodologia do inventário nacional também foram disponibilizadas e replicadas em um sistema gerenciado por organizações não governamentais e da sociedade civil (Sistema para Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). A ampla divulgação do sistema de inventário nacional, incluindo mapas de uso da terra e bancos de dados sobre biomassa e fatores de emissão, pode ajudar a esclarecer equívocos sobre questões de contabilização relatados na literatura científica.

Diante desse cenário, este trabalho objetivou analisar as emissões e remoções de dióxido de carbono nos seis biomas brasileiros no período compreendido entre 1990 a 2023, utilizando métodos estatísticos básicos, tais como medidas descritivas, análise gráfica temporal e agrupamento de séries

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

temporais similares. O intuito foi avaliar padrões de comportamento dos dados ambientais disponibilizados pelo SEEG, a fim de promover uma compreensão mais aprofundada de cada bioma, reforçando a importância desses estudos para proporcionar um melhor controle e redução das emissões de dióxido de carbono.

2. Metodologia

2.1 Material

Este trabalho possui um caráter de estudo de natureza quantitativa, baseado em pesquisa documental, utilizando dados secundários sobre emissões e remoções de dióxido de carbono (CO_2), obtidos por meio da plataforma SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa) com base na Nota Metodológica SEEG 11, referente ao Setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas (SEEG, 2024).

A divisão territorial dos seis biomas (Figura 1) foi realizada de acordo com as definições do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004), em colaboração com o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Durante o processo de delimitação territorial, foram considerados diversos aspectos, como as diferenças edafoclimáticas, o relevo, o tipo de vegetação e a pressão antrópica (SEEG, 2024).

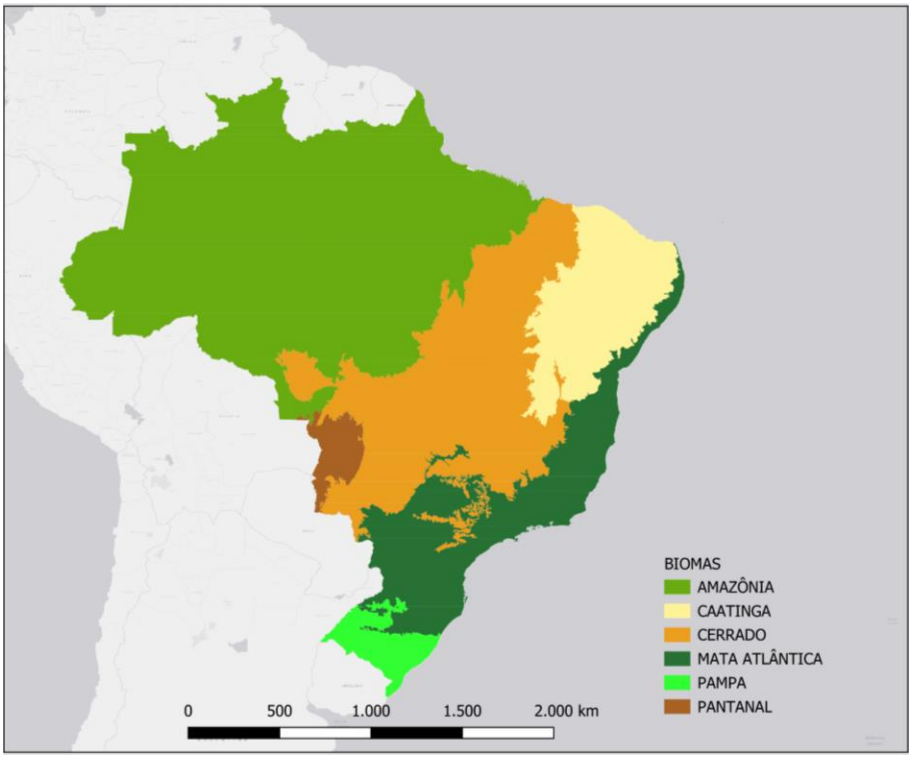
No Setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas, a SEEG aborda as emissões brutas e líquidas além das remoções de CO_2. Para gerar a base de dados, foram utilizados os dados secundários referentes aos seguintes processos: emissão por alteração do uso da terra; remoção por vegetação secundária, dentro de áreas protegidas e por outras mudanças de uso da terra.

A base de dados para análise foi composta pelas variáveis Ano, Bioma, Emissões, Remoções e Emissões líquidas, abrangendo o período de 1990 a 2023 para os seis biomas totalizando 204 observações, correspondentes a 34 registros por bioma. Os valores das emissões e remissões estão expressos em milhões ou bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO_2 eq).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Figura 1 - Distribuição e representatividade dos biomas brasileiros



Fonte: Dados IBGE/2004

2.2 Métodos

As análises estatísticas foram realizadas com os valores das emissões e remoções em cada um dos biomas. Inicialmente, foram obtidas as principais medidas descritivas para avaliação de tendência central e variabilidade dos dados. Como os dados foram registrados ao longo do tempo, o gráfico em linhas avaliou o comportamento dos valores em todo o período. Para visualizar as relações entre as séries temporais, foi usado o diagrama de dispersão de cada bioma em relação aos outros. Esses gráficos foram organizados em uma matriz de dispersão no qual a variável no eixo vertical é representada pelo nome do bioma na linha e a variável no eixo horizontal é representada pelo nome do outro bioma na coluna correspondente. Com eles, foi possível verificar o sentido da associação das variáveis analisada entre os biomas. Para avaliação do processo auto regressivo das séries, foi utilizada a função de autocorrelação parcial. O teste de tendência de Mann Kendall não paramétrico modificado (HAMED and RAO, 1998), adequado para dados auto correlacionados, foi aplicado para verificar se há tendência e,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

sendo ela significativa, o tipo de inclinação (descendente ou ascendente) nas séries. Por fim, o agrupamento de séries temporais foi pelo método DTW (*Dynamic Time Warping*), conhecida como distância de alinhamento temporal dinâmico que é uma medida de dissimilaridade, cujo cálculo envolve um algoritmo de programação dinâmica que tenta encontrar o caminho de alinhamento ideal entre duas séries sob certas restrições (SARDA-ESPINOSA, 2019).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software livre R (R CORE TEAM, 2025) e foi adotado o nível de significância de 5% para o teste tendência. Os principais pacotes utilizados foram: *fpp3 (*HYNDMAN & ATHANASOPOULOS, 2021), *modifiedmk* (PATAKAMURI & O'BRIEN, 2025) e *dtwclust* (SARDA-ESPINOSA, 2024).

2.3 Limitações metodológicas

A proposta deste trabalho tem ênfase no estudo descritivo com algumas análises inferenciais, mas sem a busca de modelos teóricos de séries temporais mais refinados que objetivam obter previsões para anos futuros. Ressalta-se ainda que não houve intenção de avaliar outros dados como temperatura, precipitação, desmatamentos, queimadas, etc. que de certa forma podem influenciar nas emissões e remoções de dióxido de carbono nos biomas do Brasil.

3. Resultados e Discussão

A análise das medidas descritivas obtidas dos dados de emissões de CO_2 por bioma (Tabela 1), mostra um resultado que pode ser considerado como esperado: quanto maior a extensão territorial, maiores os valores para as medidas descritivas média, mediana e desvio padrão. Observa-se que apenas no Pantanal a média e a mediana apresentaram valores aproximadamente iguais, indicando não haver valores muito altos ou muito baixos de emissões de CO_2 na série histórica analisada. Nos demais, a mediana foi sempre menor que a média indicando a possibilidade de uma predominância de valores atípicos altos. Porém, em termos de variabilidade relativa, o Pantanal apresentou um valor mais alto, indicando menor uniformidade das medidas no período analisado. Já no bioma Pampa, foi constatado que as emissões de CO_2 estão distribuídas de forma mais uniforme no

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

período quando comparado com os demais biomas.

Tabela 1: Estatísticas descritivas emissões de CO_2 (em t/10^5) por bioma

Bioma	Medidas descritivas			
	Média	**Mediana**	**Desvio padrão**	**CV (%)**
Amazônia	9203,0	9042,8	3473,8	37,8
Caatinga	336,2	310,4	90,7	27,0
Cerrado	1901,7	1843,2	587,1	30,9
Mata Atlântica	1116,5	938,2	432,7	38,8
Pampa	170,8	167,9	46,9	27,5
Pantanal	77,4	77,3	32,0	41,4

Fonte: Dados SEEG/2024

A análise das medidas descritivas para as remoções de CO_2 (Tabela 2) mostra que os seis biomas avaliados atuam como sumidouros de dióxido de carbono, expressado por valores negativos para as medidas de posição. Como ocorreu para as emissões, os biomas mais extensos apresentaram maiores valores para a média, mediana e desvio padrão. Na avaliação do coeficiente de variação, destacam-se Caatinga e Pantanal com valores mais elevados quando comparados com os demais. O Cerrado apresentou o valor menor para esta medida que caracteriza um padrão de mais homogeneidade dos registros ao longo do tempo.

Na Figura 2, tem-se a evolução das emissões e remoções de CO_2 nos seis biomas brasileiros entre 1990 e 2023. As emissões, representadas por linhas vermelhas, com valores positivos e as remoções, representadas pelas linhas verdes, com valores negativos.

No bioma Amazônia, observa-se que, somente a partir de 2003, as emissões reduziram de uma forma mais expressiva, voltando a elevar-se de uma forma mais branda a partir de 2014. No último ano analisado, houve uma queda nas emissões, porém não sendo menor que os valores mínimos registrados entre 2008 e 2012.

O bioma Mata Atlântica destaca-se dos demais por apresentar, de uma forma geral, uma tendência de decréscimo nas emissões, com poucas oscilações em todo o período analisado. Apesar das diferenças nas quantidades absolutas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

emitidas, há uma semelhança no comportamento das séries do Cerrado com o Pampa e da Caatinga com o Pantanal. Nos dois primeiros, os valores das emissões são maiores no início da série e menores no final; nos dois últimos, esse padrão é invertido. O Pantanal apresenta crescimento acentuado a partir de 2015, com uma pequena redução em 2021, mas voltando a crescer em 2023, chegando a um nível muito próximo ao pico registrado em 1996. No caso da Caatinga, as emissões cresceram a partir de 2017, alcançando um pico no último ano da série.

Tabela 2: Estatísticas descritivas remoções de CO_2 (em t/10^5) por bioma

Bioma	Medidas descritivas			
	Média	Mediana	Desvio padrão	CV (%)
Amazônia	-3290,0	-3831,0	1398,0	42,5
Caatinga	-259,0	-276,0	139,0	53,7
Cerrado	-455,0	-495,0	179,0	39,3
Mata Atlântica	-289,0	-305,0	143,0	49,6
Pampa	-99,3	-117,0	40,7	41,0
Pantanal	-14,7	-17,7	7,43	50,7

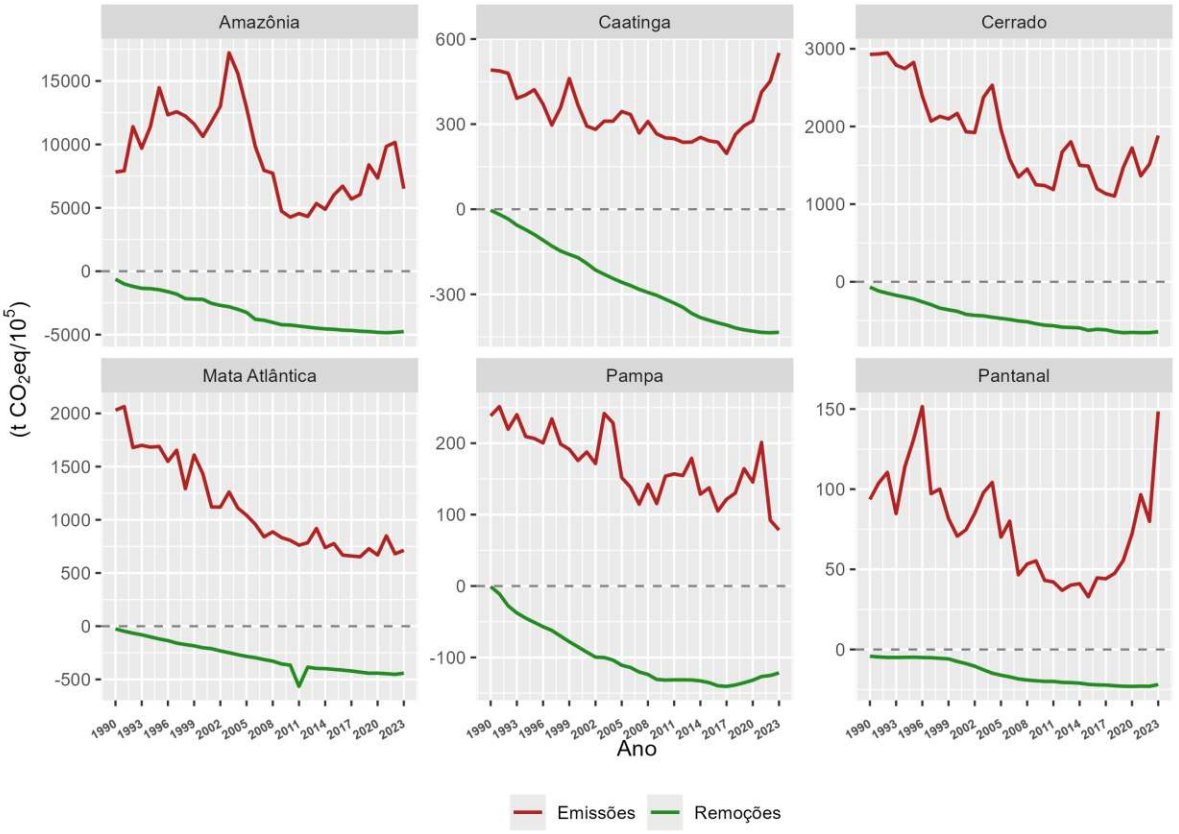
Fonte: Dados SEEG/2024

Os resultados do teste de tendência de Mann Kendall modificado para emissões estão na Tabela 3. São apresentados o valor da estatística de teste, o correspondente nível descritivo, além do resultado para inclinação da tendência. Os resultados mostram que nos biomas Amazônia e Pantanal a tendência de decréscimo não foi significativa. Em ambos os casos são registrados alguns anos que as emissões reduziram, porém não o suficiente para caracterizar um resultado significativo. Nos demais, mesmo apresentando um nível de crescimento em alguns anos do período analisado, o decréscimo não aconteceu por obra do acaso.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Figura 2: Emissões e remoções de CO_2 por bioma



Fonte: Dados SEEG/2024

Tabela 3: Teste de Mann Kendall modificado para emissões de CO_2

Bioma	τ de Kendall	Valor-p corrigido	Tendência
Amazônia	-0,273	0,1732	Não significativa
Caatinga	-0,408	0,0165	Decrescente
Cerrado	-0,615	0,0003	Decrescente
Mata Atlântica	-0,829	0,0001	Decrescente
Pampa	-0,586	0,0000	Decrescente
Pantanal	-0,383	0,0529	Não significativa

Fonte: Dados SEEG/2024

Já na análise do comportamento das remoções, expressos em valores negativos, observa-se um padrão de decréscimo em todos os biomas, significando que houve um aumento do sequestro de carbono pela vegetação. Destaca-se o bioma Caatinga onde o decréscimo foi mais acentuado, mesmo as emissões aumentando a partir do ano de 2017.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

O teste de tendência de Mann Kendall modificado para as remoções (Tabela 4) apresentou resultados significativos para decréscimo em todos os biomas. Os valores encontrados para cada uma das estatísticas do teste foram negativos e os correspondentes valores dos níveis descritivos foram menores que o nível de significância adotado. Isso indica um resultado relevante no sentido de que todos os seis biomas estão, ao longo dos anos, aumentando a retirada de CO_2 da atmosfera.

Tabela 4: Teste de Mann Kendall modificado para remoções de CO_2

Bioma	τ de Kendall	Valor-p corrigido	Tendência
Amazônia	-0,979	0,0000	Decrescente
Caatinga	-0,993	0,0001	Decrescente
Cerrado	-0,964	0,0001	Decrescente
Mata Atlântica	-0,939	0,0001	Decrescente
Pampa	-0,807	0,0013	Decrescente
Pantanal	-0,947	0,0000	Decrescente

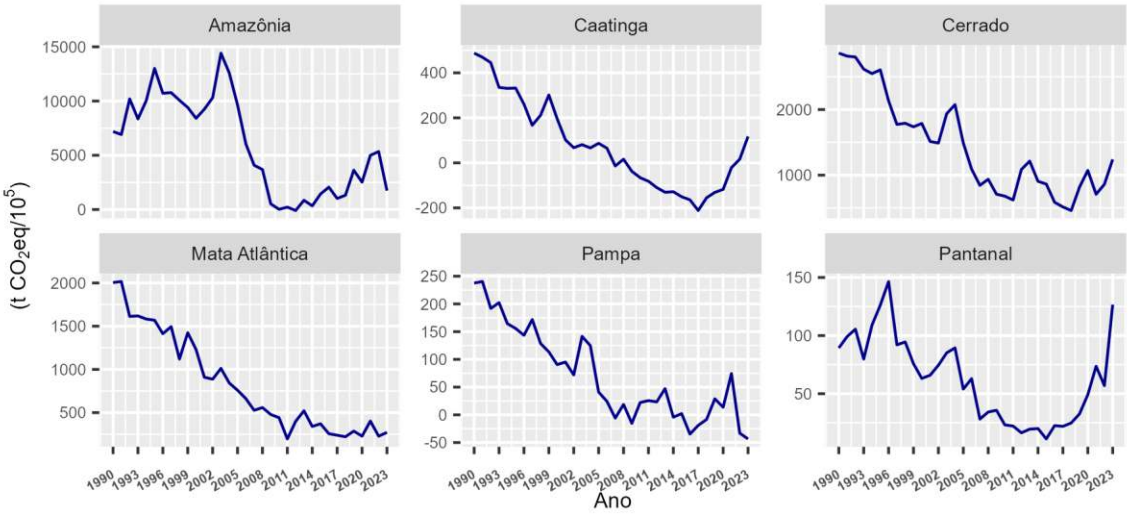
Fonte: Dados SEEG/2024

No caso das emissões líquidas (Figura 3), diferença entre emissões e remoções, o padrão é semelhante quando comparado com as emissões. Ressalta-se que apenas o bioma Caatinga, que é exclusivamente brasileiro, apresentou valores negativos para esta medida no período entre 2008 e 2020. Ou seja, neste período, as remoções superaram as emissões. O teste de Mann Kendall modificado (Tabela 5) apresentou um resultado significativo para decréscimo no período em todos os biomas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Figura 3: Emissões líquidas de CO_2 por bioma



Fonte: Dados SEEG/2024

Tabela 5: Teste de Mann Kendall modificado para emissões líquidas de CO_2

Bioma	τ de Kendall	Valor-p corrigido	Tendência
Amazônia	-0,398	0,0478	Decrescente
Caatinga	-0,736	0,0000	Decrescente
Cerrado	-0,690	0,0001	Decrescente
Mata Atlântica	-0,847	0,0000	Decrescente
Pampa	-0,708	0,0000	Decrescente
Pantanal	-0,465	0,0285	Decrescente

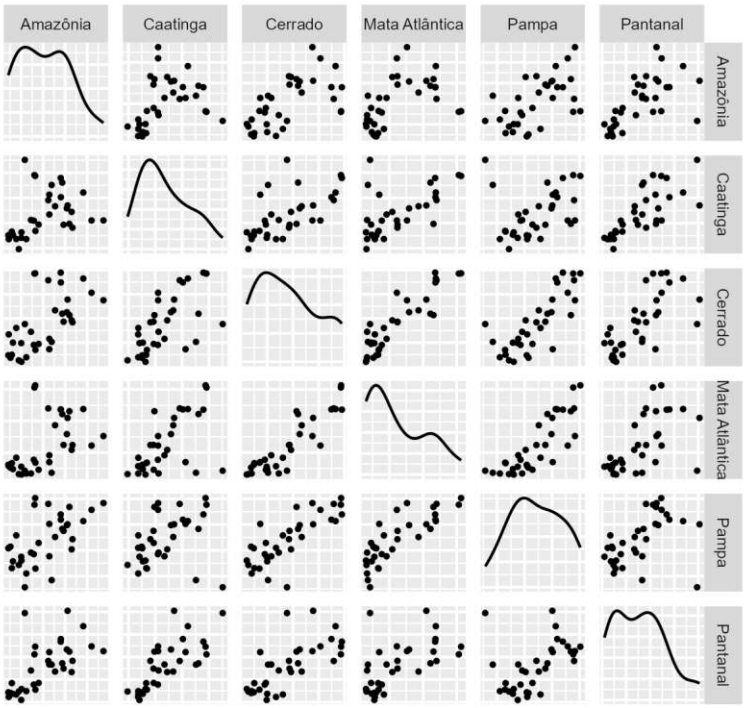
Com o propósito de avaliar o relacionamento entre os biomas, foi construído o diagrama de dispersão para visualizar como a nuvem de pontos, formada pelas emissões e remoções em cada ano, ficou distribuída no eixo cartesiano. Para as emissões, Figura 4, destacam-se pontos menos dispersos e formando uma reta ascendente na relação entre o Cerrado com o Pampa, com a Amazônia e também com a Mata Atlântica. Pode- se observar em alguns gráficos, como por exemplo a Amazônia e a Caatinga e o Pampa com o Pantanal, além da maior dispersão, a presença de pontos mais afastados da nuvem central indicando valores que

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

destoam do padrão geral, ou seja, possíveis *outliers*. Na relação entre o Pampa e Mata Atlântica, os pontos sinalizam para uma relação possivelmente curvilínea.

Figura 4: Matriz de dispersão para emissões de CO_2 entre os biomas



Fonte: Dados SEEG/2024

No caso das remoções (Figura 5), observa-se que as nuvens de pontos apresentam um comportamento bem menos disperso entre os pares de biomas quando comparado com as emissões. Há um predomínio de um alinhamento no sentido positivo dos pontos nos anos avaliados, indicando uma alta concordância entre a maioria dos biomas. Isto sugere que há um comportamento temporal semelhante entre eles quando se trata de remoções de dióxido de carbono.

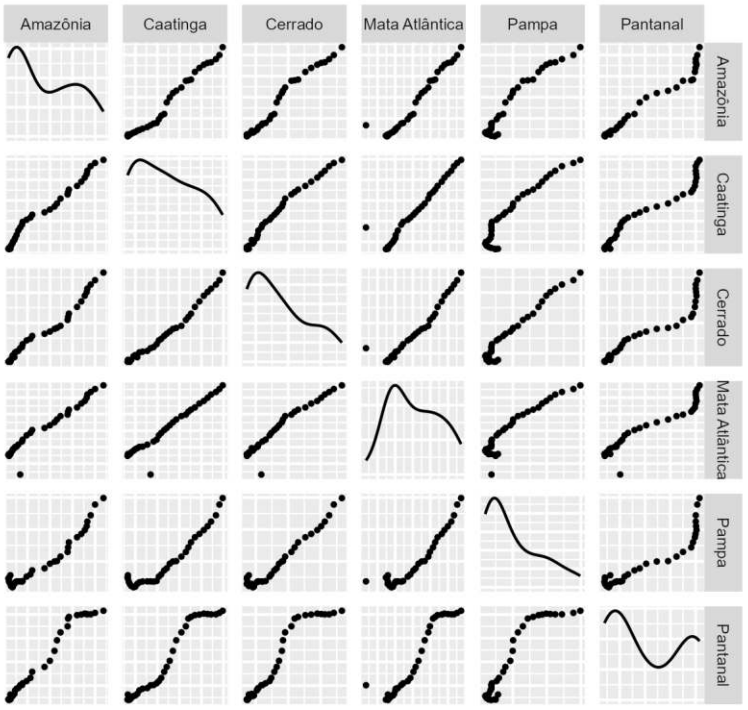
Os gráficos da função de autocorrelação parcial (FACP), tanto para as emissões (Figura 6a) quanto para as remoções (Figura 6b), apresentaram semelhanças quando se analisou a dependência dos valores com o passado. Vale ressaltar que FACP mede a correlação entre uma observação e sua defasagem (*lag*) após remover os efeitos das defasagens intermediárias. Destaque para o bioma Pantanal onde os valores foram os maiores registrados para o *lag* 1. Em ambos os casos, as séries são autoregressivas de ordem 1, ou seja, a correlação com o ano imediatamente anterior é significativa em todos os biomas. Isto implica

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

que a influência do passado mais imediato é muito expressiva no registro presente das emissões e das remoções.

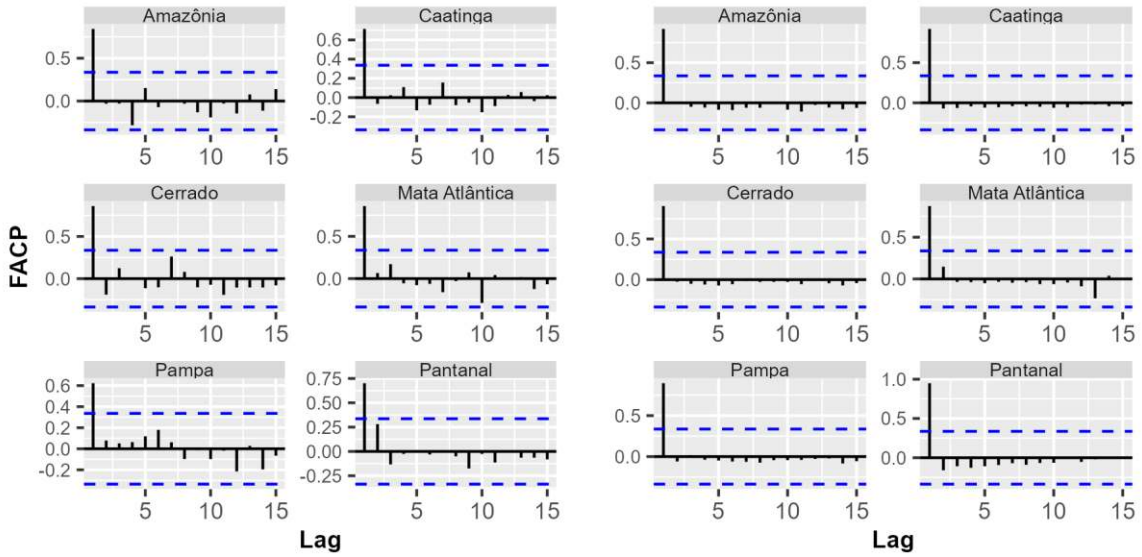
Figura 5: Matriz de dispersão para remoções de CO_2 entre os biomas



Fonte: Dados SEEG/2024

Figura 6a: FACP para emissões

Figura 6b: FACP para remoções



Dados SEEG/2024

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Com o propósito de avaliar conjuntamente os biomas com mais similaridades, foi realizado o agrupamento das séries usando o método DTW. Inicialmente, identificou-se o número de grupos (*clusters*) a serem formados pelo método "cotovelo" para as emissões (Figura 7a) e remoções (Figura 7b). Para isso, os dados foram previamente padronizados para que medidas com valores maiores não interfiram na formação dos clusters, evitando assim predominância no cálculo da distância e resultando em agrupamentos imprecisos. Em ambas medidas, o número de grupos foi três.

Figura 7a: Emissões

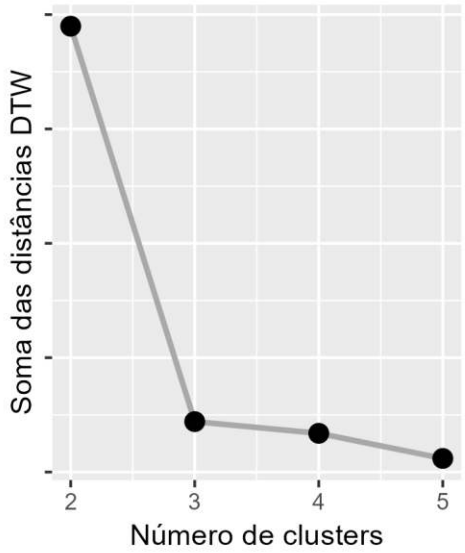
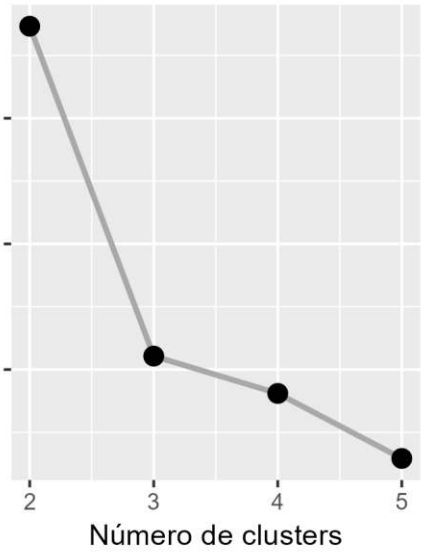


Figura 7b: Remoções



As séries foram agrupadas em três clusters, considerando os biomas como unidades de análise e os anos como características da série temporal. Os agrupamentos obtidos confirmam as associações previamente observadas nos diagramas de dispersão. Nesse sentido, o agrupamento DTW evidenciou padrões distintos de comportamento temporal das emissões de CO_2 entre os biomas (Figura 8): um padrão de similaridade compartilhado com a Amazônia, o Cerrado e o Pampa; um padrão singular peculiar da Mata Atlântica; um padrão com similaridades entre a Caatinga e o Pantanal.

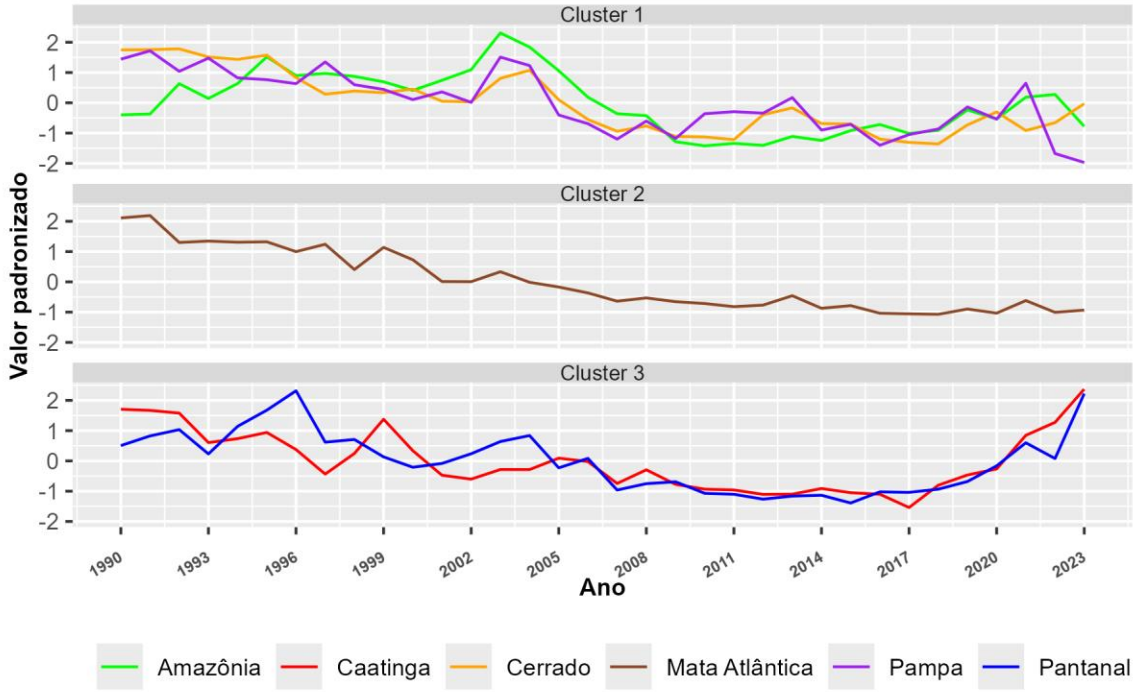
No caso das remoções (Figura 9), os três grupos criados incluíram o bioma Amazônia a Mata Atlântica e o Pantanal no primeiro; a Caatinga, diferenciando-se de todos os outros, no segundo grupo; o Pampa e o Cerrado formaram assim um

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

terceiro grupo. Isso evidenciou uma diferença quando comparada a formação dos grupos pelas emissões.

Figura 8: Agrupamento dos biomas para emissões

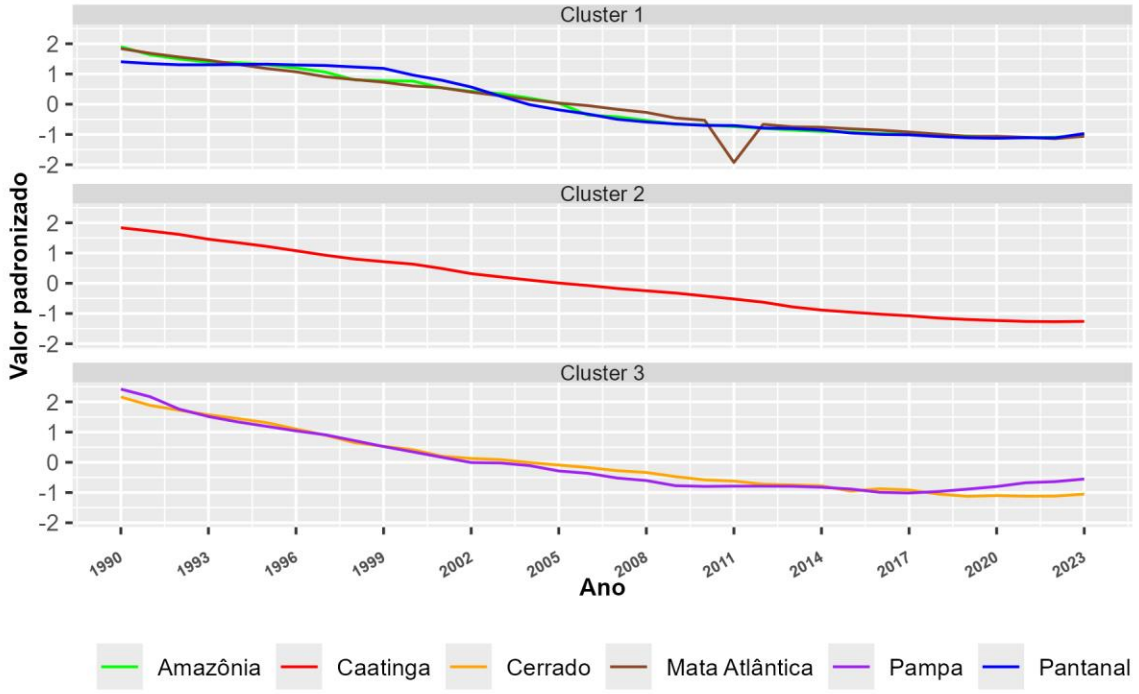


Fonte: Dados SEEG/2024

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Figura 9: Agrupamento das séries para remoções



Fonte: Dados SEEG/2024

Estas associações observadas entre os biomas podem estar relacionadas não apenas a fatores socioeconômicos e ambientais, mas também à interligação territorial existente entre eles. A proximidade espacial e a presença de zonas de transição favorecem a ocorrência de pressões antrópicas semelhantes, como a expansão agropecuária e o desmatamento, que frequentemente ultrapassam os limites geográficos e ecológicos de cada bioma (Martini *et al*., 2025).

4. Conclusão

Os resultados obtidos permitiram analisar o comportamento das emissões e remoções de dióxido de carbono nos diferentes biomas do Brasil.

Nos biomas Amazônia e Pantanal, a tendência de decréscimo das emissões não foi significativa, mesmo ocorrendo redução em alguns anos. Nos demais, mesmo apresentando um nível de crescimento em alguns anos do período analisado, o decréscimo não aconteceu por obra do acaso.

Para as remoções e emissões líquidas, o teste de tendência foi relevante no sentido de que todos os seis biomas estão, ao longo dos anos, aumentando a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

retirada de CO_2 da atmosfera.

Na Caatinga e no Pantanal, ressalta-se que ocorreu um aumento nos anos mais recentes. Destes dois, apenas a Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, apresentou um potencial relevante de remoções de CO_2, indicando a possibilidade de que a biodiversidade da flora, sobretudo da vegetação secundária, desempenhou um papel crucial no sequestro e no estoque de carbono.

Com relação ao grau de dependência do registro em cada ano depender fortemente do resultado do ano anterior, como foi mostrado com a função de autocorrelação parcial, pode ter grande relevância tanto no sentido de direcionamento de como melhor controlar as emissões e remissões de CO_2 nestes biomas, como no sentido de propostas para trabalhos posteriores para modelagens estatísticas que objetivam obter previsões futuras para estas medidas.

A formação dos grupos, reunindo biomas com mais semelhanças nas emissões e remoções, pode auxiliar gestores públicos em tomadas de decisões no sentido de como proceder para que cada bioma passe a absorver mais dióxido de carbono da atmosfera do que absorvia antes, funcionando como verdadeiros sumidouros de carbono mais eficientes, desacelerando assim o aquecimento global.

Assim, o estudo cumpriu seu objetivo de avaliação do comportamento das emissões e remoções de CO_2 entre 1990 e 2023, oferecendo subsídios importantes para orientar estratégias de conservação e políticas públicas mais eficazes no enfrentamento das mudanças climáticas.

Referências

BRITO MORAIS, Y. C. et al. Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, p. 585-599, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786324007

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Engagement of scientific community and transparency in C accounting: the Brazilian case for anthropogenic greenhouse gas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

emissions from land use, land-use change and forestry. Environmental Research Letters, v. 13, n. 5, p. 055005, 2018. DOI: 10.1088/1748-9326/aabb37.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. Forecasting: Principles and Practice. 3. ed. [S. l.]: OTexts, 2021. Disponível em: https://otexts.com/fpp3/. Acesso em: 15 nov. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br. Acesso em: 12 out. 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto – PIB. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 20 mar. 2026.

IZQUIERDO PÉREZ, Á. Ejercicios de indagación en el aula: el cambio climático y el ciclo del carbono. 2022. Trabalho de Fin de Máster – Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, 2022. Disponível em: https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/31762/Ejercicios%20de%20indagacion%20en%20el%20aula%20el%20cambio%20climatico%20y%20el%20ciclo%20del%20carbono..pdf. Acesso em: 20 mar. 2026.

HAMED, K. H., and RAO, A. R., 1998: A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, Volume 204, Issues 1–4, 1998, Pages 182-196, ISSN 0022-1694, https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

MARTINI, A.; PANCIERI, S. D.; TORRES, F. T. P. Análise da fragmentação florestal por meio de métricas da paisagem na região de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica. Geografia UERJ, v. 47, p. 1–20, jan./jun. 2025. DOI: 10.12957/geouerj.2025.84818.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

clima: a zona costeira. Parcerias Estratégicas, Brasília, DF, n. 27, dez. 2008.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Aquecimento global de 1,5°C: sumário para formuladores de políticas. [S.l.]: IPCC, 2018. Tradução em português publicada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), 2019. Disponível em: arquivo digital. Acesso em: 23 mar. 2026.

PATAKAMURI, S. K.; O'BRIEN, N. modifiedmk: Modified Versions of Mann Kendall and Spearman's Rho Trend Tests. Versão 1.6. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/modifiedmk/modifiedmk.pdf. Acesso em: 18 mar. 2026.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. <https://www.R-project.org/>

SARDÁ-ESPINOSA, A. Time-Series Clustering in R Using the dtwclust Package. The R Journal. 2019. doi:10.32614/RJ-2019-023.

SARDÁ-ESPINOSA, A. *dtwclust*: Time Series Clustering Along with Optimizations for the Dynamic Time Warping Distance. 2024. doi:10.32614/CRAN.package.dtwclust, R package version 6.0.0, https://CRAN.R-project.org/package=dtwclust.

SEEG. Nota metodológica SEEG 11: Setor Mudanças de Uso da Terra e Florestas. Versão 2. Brasília: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2024. 89 p. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Plataforma SEEG: sistema de estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Base de dados online. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/. Acesso em: 20 out. 2025.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 28/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/b9sdem73
Pages: 1-22

Organização das Nações Unidas. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Nova Iorque: ONU, 2015.