



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA RURAL

PAULO LUCAS DA ROCHA AGUIAR

**FORMAÇÃO DE CLUBES DE CONVERGÊNCIA NAS EMISSÕES AGRÍCOLAS DE
GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO EMPÍRICO PARA O MATOPIBA**

FORTALEZA

2026

PAULO LUCAS DA ROCHA AGUIAR

FORMAÇÃO DE CLUBES DE CONVERGÊNCIA NAS EMISSÕES AGRÍCOLAS DE
GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO EMPÍRICO PARA O MATOPIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Economia Rural. Área de concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa.

FORTALEZA

2026

PAULO LUCAS DA ROCHA AGUIAR

FORMAÇÃO DE CLUBES DE CONVERGÊNCIA NAS EMISSÕES AGRÍCOLAS DE
GASES DE EFEITO ESTUFA: UM ESTUDO EMPÍRICO PARA O MATOPIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Economia Rural. Área de concentração: Economia de Recursos Naturais e Política Ambiental.

Aprovada em: 23/02/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Domingos Isaías Maia Amorim
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)

A Deus.

Aos meus pais, José Vagner e Katiana.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele eu nada seria.

Aos meus pais, José Vagner e Katiana, que sempre fizeram de tudo para me proporcionar o melhor, cujo apoio foi essencial para que eu chegasse até aqui .

Ao Prof. Dr. Francisco José Silva Tabosa, pela orientação nesse trabalho e também por acompanhar minha trajetória acadêmica desde a graduação.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Vitor Hugo Miro Couto Silva e Prof. Dr. Domingos Isaías Maia Amorim, pelo tempo disponibilizado para avaliação desse trabalho e por suas contribuições para a qualidade desta pesquisa.

À Instituição FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

RESUMO

A região do Matopiba, composta por municípios de Maranhão, Tocantins, Piauí, e Bahia, teve sua dinâmica de ocupação do solo passando por consideráveis e rápidas transformações ao longo das últimas décadas, e isso aconteceu principalmente por causa da expansão das atividades agropecuárias. Dado o crescimento e a importância da produção de grãos para a região do Matopiba e a forma como as mudanças climáticas podem impactar essa produção, bem como o importante papel da agricultura na mitigação dessas mudanças climáticas através da redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), o presente estudo se faz necessário para avaliar a presença de clubes de convergência no que diz respeito a emissões de GEEs oriundas do setor agrícola na região do Matopiba. Para isso, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Phillips e Sul (2007), adequada para este estudo por permitir a identificação de padrões dinâmicos de comportamento entre unidades espaciais ao longo do tempo, mesmo quando estas apresentam trajetórias distintas de partida. Os 3 cenários criados para essa pesquisa apresentaram os mesmos resultados: rejeição da hipótese de nulidade de convergência global e formação de 1 clube de convergência com nenhum município sendo considerado divergente. Isso significa que todos os municípios seguem a mesma tendência geral de evolução das emissões ao longo do tempo, ou seja, os municípios são homogêneos quanto à trajetória de emissões. Uma das possíveis explicações para esse resultado seria a expansão agrícola que vem ocorrendo na região, fazendo com que o perfil produtivo, as políticas ambientais, as boas práticas de manejo, e as tecnologias utilizadas venham a ser difundidos por toda a região. Entender que todos os municípios da região do Matopiba pertencem ao mesmo clube de convergência é muito importante para os elaboradores de políticas públicas, pois fatores comuns para toda a região irão exercer a mesma influência relativa sobre as emissões agrícolas.

Palavras-chave: Matopiba; gases de efeito estufa; clubes de convergência.

ABSTRACT

The Matopiba region, composed of municipalities in Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia, has undergone considerable and rapid transformations in land-use dynamics over recent decades, mainly due to the expansion of agricultural activities. Given the growth and importance of grain production for the Matopiba region and the way climate change can affect this production, as well as the important role of agriculture in mitigating these climate changes through the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions, the present study is necessary to evaluate the presence of convergence clubs with respect to GHG emissions originating from the agricultural sector in the Matopiba region. For this purpose, the methodology developed by Phillips and Sul (2007) was used, as it is suitable for this study because it allows the identification of dynamic patterns of behavior among spatial units over time, even when they present distinct initial trajectories. The three scenarios created for this research presented the same results: rejection of the null hypothesis of global convergence and the formation of one convergence club, with no municipality being considered divergent. This means that all municipalities follow the same general trend in the evolution of emissions over time, that is, the municipalities are homogeneous in terms of their emissions trajectory. One possible explanation for this result is the agricultural expansion that has been occurring in the region, causing the productive profile, environmental policies, good management practices, and technologies used to be disseminated throughout the region. Understanding that all municipalities in the Matopiba region belong to the same convergence club is very important for policymakers, since common factors across the entire region will exert the same relative influence on agricultural emissions.

Keywords: Matopiba; greenhouse gases; convergence clubs.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Aptidão agrícola das terras no Matopiba	17
Gráfico 2	– 10 municípios que mais emitiram GEEs (tCO ₂ e/ha plantado) em média	32
Gráfico 3	– Taxa média de crescimento anual (10 municípios que mais emitiram tCO ₂ e/ha plantado em média)	32
Gráfico 4	– Top 10 municípios que mais emitiram GEEs em média	34
Gráfico 5	– Taxa média de crescimento anual das emissões (10 municípios que mais emitiram GEEs em média no cenário 2)	35
Gráfico 6	– Emissões de tCO ₂ e (média) dos municípios da Bahia	37
Gráfico 7	– Taxa média de crescimento anual das emissões dos municípios bahianos	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exportações da Agropecuária maio de 2025 (até a quarta semana)

22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Totalização das áreas referentes às classes de aptidão agrícola das terras do Matopiba, para uso com lavoura (nos níveis de manejo A, B e C), pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural	18
Tabela 2 – Estatística descritiva do cenário 1	31
Tabela 3 – Estatística descritiva (Cenário 2)	33
Tabela 4 – Estatística descritiva dos municípios do cenário 3	35
Tabela 5 – Resultados do cenário 1	39
Tabela 6 – Resultados do cenário 2	39
Tabela 7 – Resultados do cenário 3	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
PIBpm	Produto Interno Bruto a Preços de Mercado
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Reais
°C	Graus Celsius
US\$	Dólar
tCO ₂ e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
ha	Hectares
tCO ₂ e/ha	Toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Matopiba	17
2.1.1	<i>Potencial Agrícola da região</i>	17
2.1.2	<i>O Matopiba e a produção de grãos</i>	19
2.1.3	<i>Importância da produção de grãos para a economia da região</i>	20
2.2	Mudanças climáticas e agricultura	21
2.2.1	<i>A importância do setor agropecuário para o Brasil e sua vulnerabilidade às mudanças climáticas</i>	21
2.2.2	<i>O impacto das mudanças climáticas na produção de grãos</i>	23
2.3	O papel da agricultura na mitigação das mudanças climáticas	24
2.4	Testes empíricos sobre convergência das emissões de gases de efeito estufa	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	Etapas da aplicação empírica	29
3.2	Base de dados	30
4	RESULTADOS	31
4.1	Estatística descritiva	31
4.2	Clubes de convergência	38
4.2.1	<i>Cenário 1 - Emissões ponderadas</i>	38
4.2.2	<i>Cenário 2 - Emissões totais</i>	39
4.2.3	<i>Cenário 3 – Municípios baianos</i>	39
4.2.4	<i>Discussão</i>	40
5	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A região do Matopiba, composta por municípios de Maranhão, Tocantins, Piauí, e Bahia, teve sua dinâmica de ocupação do solo passando por consideráveis e rápidas transformações ao longo das últimas décadas, e isso aconteceu principalmente por causa da expansão das atividades agropecuárias. Sua formação está ligada ao crescimento do agronegócio e de um modelo produtivo baseado na mecanização intensiva (Carvalho; Magalhães; Miranda, 2014; Batista *et al.*, 2023; Belchior; Alcântara; Barbosa, 2017).

A presença de áreas planas, condições edafoclimáticas adequadas para o cultivo de grãos e a proximidade de terminais portuários são algumas das características que tornam essa região promissora e atrativa do ponto de vista do agronegócio (Belchior, Alcântara e Barbosa, 2017). Dados de um estudo realizado por Lumbreras *et al.* (2015) apontam que existe na região uma quantidade relevante de terras que possuem alto potencial para o desenvolvimento de agricultura intensiva de boa e regular aptidão.

A região é destaque na produção nacional de grãos, onde, desde 1970, essa produção tem promovido mudanças em seu quadro socioeconômico, e além disso, ela é responsável pelo crescimento da agricultura no Matopiba a taxas superiores à média nacional (Pereira, 2019). No ano de 2023, a produção de soja no Matopiba representou aproximadamente 12,45% da produção nacional, a produção de milho representou cerca de 7,17%, enquanto a produção de algodão representou 21,97% do total produzido no país, segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2023, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No que diz respeito a essas culturas, soja, milho, e algodão, apresentaram um crescimento de 119%, 78,77% e 27,82% respectivamente, no período de 2014 a 2023. Esses dados destacam a importância dessas culturas para a região, bem como a relevância do Matopiba para a produção nacional de grãos.

Em relação ao produto interno bruto (PIB) da região, segundo dados do IBGE (2016) citados por Buainain, Garcia e Vieira Filho (2017), o produto interno bruto a preços de mercado (PIBpm) - referência 2010 - no ano de 2013 foi de R\$ 73 bilhões, o que representou 1,4% do PIBpm brasileiro. O valor bruto da produção agropecuária da região foi estimado em R\$ 11,6 bilhões (média trienal de 2010-2012), tendo a lavoura temporária sido responsável por R\$ 9,8 bilhões, dos quais R\$ 9,1 bilhões foram oriundos dos cultivos de soja, milho, algodão, arroz, e cana-de-açúcar, os cinco principais produtos dessa lavoura.

Segundo Buainain, Garcia e Vieira Filho (2017), o clima na região se revelava instável e até o momento de seu estudo, nem produtores, nem técnicos conseguiram encontrar

recomendações técnicas sobre o processo produtivo para reduzir os riscos envolvidos. As mudanças climáticas representam na atualidade um dos mais significativos desafios enfrentados pela humanidade. Essas mudanças já podem ser percebidas de diversas formas, algumas delas são: através do aquecimento global, da maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos e das alterações nos regimes de chuvas (Brasil, 2016; Dias *et al.*, 2021).

A vulnerabilidade dos países em desenvolvimento em relação às mudanças climáticas é mais acentuada, e um dos motivos para isso vem da importância da agricultura e dos recursos hídricos para a economia desses países, o que os tornam sujeitos ao clima. O Brasil é um país em desenvolvimento e que possui um setor agropecuário de destaque na economia mundial (Barbosa, 2021; Brasil, 2016). Segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2024), esse setor foi responsável por 23,2% do PIB brasileiro. A agropecuária é um dos setores mais dinâmicos da economia do Brasil, atendendo à demanda doméstica por alimentos e matérias-primas industriais. Além disso, é uma das grandes responsáveis por equilibrar as contas externas do país (Amaral e Guimarães, 2017).

A agropecuária é uma atividade muito dependente dos fatores climáticos, por isso, a mudança no clima pode afetar fortemente esse setor com a maior severidade de eventos extremos, aumentos da temperatura do ar, desequilíbrio entre as espécies, dentre outros (Dias *et al.* 2021). Para Kurukulasuriya e Rosenthal (2003), o aumento da incerteza dos efeitos climáticos representa um problema adicional que os agricultores precisam enfrentar.

Devido à dependência da agricultura em relação às condições meteorológicas e dadas as projeções gerais de mudanças climáticas para os próximos anos, há um consenso na literatura que o setor agrícola se apresenta como o de maior vulnerabilidade entre os setores econômicos. A imprevisibilidade do clima e o seu difícil controle dão às mudanças climáticas o título de principal fator de risco e de insucesso na produção agrícola (Castro, 2015; Evangelista *et al.*, 2017).

Estresses abióticos podem, em alguma fase do ciclo da cultura, comprometer de forma significativa o rendimento da lavoura, assim como a produção de sementes com qualidade, padrão de uniformidade, e poder de expressão do seu potencial genético. As sementes apresentam um rendimento sensível a breves episódios de temperaturas quentes se esses coincidirem com estágios críticos do desenvolvimento da cultura. Já em relação à escassez hídrica, ela pode reduzir a produtividade da soja em até 40%, enquanto, para o milho, um estresse hídrico de quatro a oito dias pode reduzir a produção em mais de 50%. Para o algodão herbáceo, os riscos climáticos para o seu cultivo aumentam consideravelmente

quando os aumentos de temperatura são acompanhados pelo decréscimo de precipitação pluvial (Evangelista *et al.*, 2017; Wheeler *et al.*, 2000; Sans e Guimarães, 2008).

Assegurar a eficiência na gestão de recursos naturais e garantir sua manutenção para as futuras gerações são duas das grandes questões quando se é discutido sobre sustentabilidade do empreendimento, aumento da produção e manutenção do bem-estar da população do campo. Os riscos que as mudanças climáticas trazem para o bem-estar dos indivíduos, para a economia das nações e para o equilíbrio do planeta fazem com que ações urgentes e duradouras para mitigação desse problema se façam necessárias (Conservação Internacional Brasil, 2021; Costa, Gurgel e Serigati, 2013).

O Brasil assumiu internacionalmente o compromisso de reduzir suas emissões de gases causadores do efeito estufa, e parte considerável desse compromisso precisa ser atendida pela agricultura brasileira. A relevância estratégica do setor agrícola se dá pelo fato de existir uma necessidade de expansão da produção com a finalidade de atender tanto as demandas atuais como futuras de suprimento alimentar e na premissa de que essa expansão da produção não deve contribuir negativamente para uma elevação dos níveis atuais de emissões, muito menos deve ocorrer por meios que resultem em perda de áreas de vegetação nativa, comprometendo, dessa forma, a sustentabilidade ambiental (Costa, Gurgel e Serigati, 2013; Brasil, 2012).

Dado o crescimento e a importância da produção de grãos para a região do Matopiba e a forma como as mudanças climáticas podem impactar essa produção, bem como o importante papel da agricultura na mitigação dessas mudanças climáticas através da redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), o presente estudo se faz necessário para avaliar a presença de clubes de convergência no que diz respeito a emissões de GEEs oriundas do setor agrícola na região do Matopiba.

Para isso, será utilizada a metodologia desenvolvida por Phillips e Sul (2007). Essa metodologia se mostra adequada para este estudo por permitir a identificação de padrões dinâmicos de comportamento entre unidades espaciais ao longo do tempo, mesmo quando estas apresentam trajetórias distintas de partida. Diferente de outras abordagens tradicionais de análise de convergência, que assumem homogeneidade desde o início do período analisado, a metodologia proposta pelos autores admite a existência de heterogeneidade inicial entre os municípios, o que é particularmente relevante no contexto do Matopiba, região marcada por assimetrias estruturais e produtivas.

A identificação de clubes de convergência nas emissões agrícolas de gases de efeito estufa (GEEs) representa uma importante ferramenta analítica para compreender a

heterogeneidade espacial existente entre os municípios do Matopiba. Ao permitir a formação de grupos que compartilham trajetórias semelhantes de emissões ao longo do tempo, essa abordagem evita generalizações indevidas e contribui para o desenho de políticas públicas mais eficientes e direcionadas. Municípios que convergem para níveis elevados de emissões, por exemplo, podem ser priorizados em programas de mitigação e incentivo à adoção de práticas agrícolas sustentáveis. Por outro lado, aqueles que convergem para patamares mais baixos podem servir como referência para a replicação de boas práticas.

Além disso, a identificação desses clubes possibilita o monitoramento de tendências regionais, a avaliação do impacto de políticas ambientais já implementadas e o fornecimento de subsídios técnicos para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas pelo Brasil em acordos internacionais. Dessa forma, a análise de convergência não apenas contribui para o avanço da literatura sobre emissões agrícolas, como também fortalece a articulação entre planejamento territorial e sustentabilidade ambiental.

O presente estudo ainda conta com os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a distribuição espacial dos clubes de convergência formados no Matopiba, destacando padrões geográficos e possíveis desigualdades regionais;
- Relacionar os padrões de convergência com possíveis fatores estruturais, produtivos ou ambientais dos municípios.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção será abordado o embasamento teórico que fundamentou essa pesquisa. Os tópicos que serão abordados são: Matopiba, potencial agrícola da região, o Matopiba e a produção de grãos, importância da produção de grãos para a economia da região, mudanças climáticas e agricultura, a importância do setor agropecuário para o Brasil e sua vulnerabilidade às mudanças climáticas, o impacto das mudanças climáticas na produção de grãos, o papel da agricultura na mitigação das mudanças climáticas, e testes empíricos sobre convergência das emissões de gases de efeito estufa.

2.1 Matopiba

MATOPIBA, acrônimo criado com as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, é a expressão que designa uma realidade geográfica que recobre parcialmente esses quatro estados. Essa região compreende 31 microrregiões, 337 municípios, e mais de 73.000.000 hectares (Miranda, Magalhães e Carvalho, 2014). Ela abrange os biomas como Cerrado (91%), Amazônia (7,3%) e Caatinga (1,7%), e a sua cobertura vegetal natural é formada predominantemente por savanas (63,6%), áreas de tensão ecológica (15%), e floresta estacional decidual (10,7%) (Bolfe *et al.*, 2017).

A região possui duas estações climáticas bem definidas, uma seca (maio-setembro) e uma chuvosa (outubro-abril), com precipitação média anual variando entre 800 mm e 2000 mm. O clima predominante na região é o tropical semiúmido, com temperaturas médias acima de 18°C durante todo o ano (janeiro-dezembro) (Bolfe *et al.*, 2017; Rocha 2023).

Ao longo das últimas décadas, a dinâmica de ocupação do solo na região do MATOPIBA passou por consideráveis e rápidas transformações, o que se deu principalmente devido à expansão das atividades agropecuárias (Batista *et al.*, 2023). Apontada como a última fronteira agrícola brasileira, sua formação está ligada ao crescimento do agronegócio e de um modelo produtivo baseado na mecanização intensiva, que é amparado sobre critérios de excelência e competitividade, utilizando-se de tecnologias modernas (Belchior, Alcântara e Barbosa, 2017).

2.1.1 Potencial agrícola da região

Segundo Belchior, Alcântara e Barbosa (2017, p. 2), são características que tornam a

região promissora e atrativa do ponto de vista do agronegócio:

A presença de áreas planas, condições edafoclimáticas adequadas para cultivos de grãos, proximidade de terminais portuários, terras comparativamente de baixo valor comercial, possibilidade de escoamento da produção por meio de outros modais de transporte – alternativos ou complementares ao modal rodoviário – e perspectiva de diminuição de custos de produção em função de melhorias de capacidade logística a serem implantadas nos portos do Arco Norte

Os dados da aptidão agrícola do estudo de Lumbreras *et al.* (2015) apontam uma relevante quantidade de terras que possuem alto potencial para o desenvolvimento de agricultura intensiva (lavoura nível C) e que são classificadas como de boa e regular aptidão (26.123.509 hectares, ou 35,647% do total de terras da região) (Tabela 1). O estudo ainda informa que a ocorrência de uma grande variedade de solos na região do MATOPIBA sob condições climáticas diversas reflete em qualidades e vulnerabilidades distintas para o uso agrícola.

Tabela 1 - Totalização das áreas referentes às classes de aptidão agrícola das terras do Matopiba, para uso com lavoura (nos níveis de manejo A, B e C), pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural.

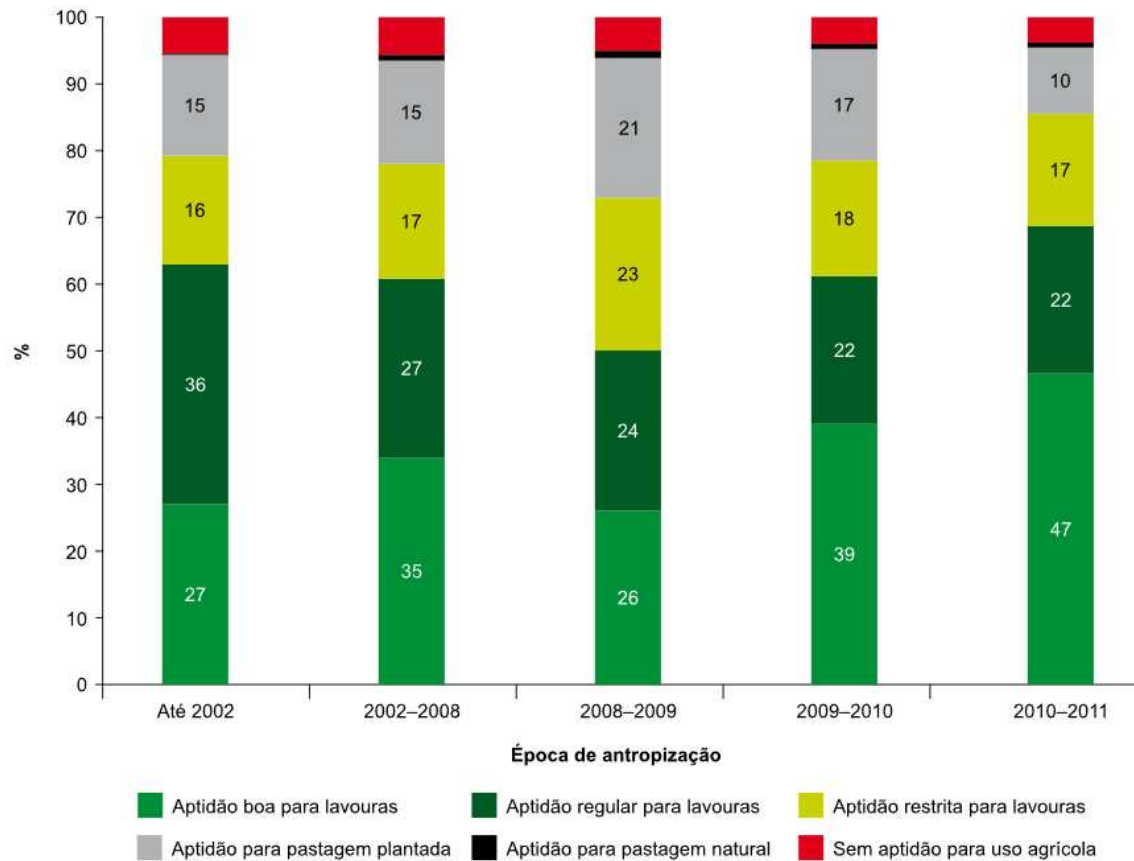
Item	Classe Boa		Classe Regular		Classe Restrita		Classe Inapta/outros	
	hectare	%	hectare	%	hectare	%	hectare	%
Lavoura nível A	169.299	0,231	2.413.588	3,293	4.309.003	5,880	54.251.650	74,029
Lavoura nível B	386.969	0,528	2.457.771	3,354	34.627.612	47,251	23.671.188	32,300
Lavoura nível C	9.209.580	12,567	16.913.929	23,080	8.615.442	11,756	26.404.589	36,030
Pastagem plantada	30.554.858	41,693	13.152.173	17,947	9.090.985	12,405	8.345.524	11,388
Silvicultura	24.391.742	33,284	7.929.603	10,820	5.274.612	7,197	23.547.583	32,132
Pastagem natural	7.689.461	10,493	35.873.757	48,951	3.047.007	4,158	14.533.315	19,831
Áreas protegidas (UCN e TI)							11.783.091	16,079
Corpo d'água							357.914	0,488
Total (ha)							73.284.545	

Fonte: Lumbreras *et al.*, (2015).

Bolfe *et al.* (2017), ao cruzar as classes de aptidão agrícola com as áreas desmatadas, observaram que o desmatamento que ocorreu até o ano de 2002 não privilegiou áreas de boa aptidão para lavouras. 36% do desmatamento foi em áreas de aptidão regular, contra 27% em áreas de boa aptidão (Gráfico 1). Já nos anos de 2010-2011, 47% das áreas desmatadas foram

áreas de boa aptidão, o que, segundo o autor, ensejou a ampliação da agricultura de larga escala na região.

Gráfico 1 – Aptidão agrícola das terras no Matopiba.



Fonte: Bolfe *et al.*, (2017).

2.1.2 O Matopiba e a produção de grãos

A região do Matopiba é destaque na produção nacional de grãos, tendo, no ano de 2016, participado de aproximadamente 10% do total de grãos produzidos no Brasil. A soja foi o principal destaque dessa produção, representando 59,8% do total de grãos produzidos no Matopiba, seguida pelo milho com 26,2% e pelo algodão herbáceo com 6,6%. Desde os anos 1970, a produção de grãos tem promovido mudanças no quadro socioeconômico da região, além disso, ela é responsável pelo crescimento da agricultura no Matopiba a taxas superiores à média nacional (Pereira, 2019).

Ferreira (2024), com base em dados do IBGE (2016), destaca que, de 2004 a 2014, a

produção de soja no Matopiba dobrou, partindo de 4,3 milhões de toneladas para 8,6 milhões de toneladas em 2014. Ele destaca ainda o aumento da produção de milho no mesmo período (2004-2014), que parte de 1,7 milhão de toneladas para 5,3 milhões de toneladas, representando um aumento de mais de 215%.

No ano de 2023, segundo dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), fornecidos pelo IBGE, a produção de soja em grão no Matopiba foi de 18.943.144 toneladas, representando aproximadamente 12,45% da produção nacional (152.144.238 toneladas). Já a produção de milho em grão representou cerca de 7,17% da produção nacional (9.469.187 toneladas, de um total de 131.950.246 t), enquanto a produção de algodão herbáceo representou 21,97% do total produzido no país (1.647.055 toneladas de um total de 7.496.603 t).

Quando se comparam esses dados com os mencionados por Ferreira (2024), fica evidente a continuidade do crescimento na produção de milho e soja na região do Matopiba. O crescimento da produção de soja no período de 2014 a 2024 foi de 119% (8.642.199 t – 18.943.144 t), o da produção de milho foi de 78,77% (5.296.825 t – 9.469.187), enquanto a produção de algodão cresceu 27,82% (1.288.536 t – 1.647.055 t), segundo os dados da PAM.

Esses números destacam a relevância da região na produção nacional de grãos, além de evidenciarem a importância da produção de soja, milho e algodão para ela. Segundo Pereira, Castro e Porcionato (2018), o cenário que representa o Matopiba atualmente é de um grande produtor de algodão, milho e soja voltado para o mercado externo.

2.1.3 Importância da produção de grãos para a economia da região

No ano de 2013, Buainain, Garcia e Vieira Filho (2017), utilizando dados do IBGE (2016), informam que o produto interno bruto a preços de mercado (PIBpm) - referência 2010 – do Matopiba foi estimado em R\$ 73 bilhões, o que representou 1,4% do PIBpm brasileiro. Desses R\$ 73 bilhões, apenas 10 municípios concentravam 40% desse valor (cerca de R\$ 29,491 bilhões), o que, segundo os autores, é um reflexo histórico da concentração e da desigualdade que marcam a região e o país.

A decomposição por setor do valor adicionado bruto (VAB) revelou a importância da agropecuária, que respondeu por 19% do total, enquanto a indústria respondeu por 16%, e os serviços por 65%. Entretanto, Buainain, Garcia e Vieira Filho (2017) destacam que, na realidade local, as duas principais atividades de geração de renda autônoma são a agricultura e o setor público, haja visto que a indústria e o comércio dependem da injeção de renda do setor

público e dos produtos oriundos do campo e renda agropecuária.

O valor bruto da produção agropecuária do Matopiba foi estimado em R\$ 11,6 bilhões (média trienal de 2010-2012), tendo sido a lavoura temporária responsável por R\$ 9,8 bilhões. A soja, o milho, o algodão, o arroz e a cana-de-açúcar foram os principais produtos da lavoura temporária, respondendo por R\$ 9,1 bilhões dos R\$ 9,8 bilhões produzidos (cerca de 93%) (IBGE, 2016 *apud* Buainain; Garcia; Vieira Filho, 2017).

Ainda segundo Buainain, Garcia e Vieira Filho (2017), o clima na região se revelava instável e, até aquele momento, nem produtores, nem técnicos conseguiram encontrar recomendações técnicas sobre o processo produtivo para reduzir os riscos envolvidos. Eventuais problemas nas produções da lavoura temporária devido a mudanças climáticas poderiam representar grandes impactos econômicos para a região do Matopiba. No próximo tópico será abordado o assunto de mudanças climáticas no cenário da agricultura.

2.2 Mudanças climáticas e agricultura

As mudanças climáticas, causadas por interferências humanas no sistema terrestre por meio da alteração na composição da atmosfera do planeta, que se somam à variabilidade climática natural, representam um dos mais significativos desafios enfrentados pela humanidade na atualidade. O Brasil não está imune a essas mudanças do clima, e pode apresentar vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais significativas em resposta a elas (Brasil, 2016).

Essas mudanças já podem ser percebidas de diversas maneiras: por meio do aquecimento global, da maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, das alterações nos regimes de chuvas, das perturbações das correntes marinhas, das ondas de calor, dentre outras (Dias *et al.*, 2021).

Segundo Barbosa (2021), a vulnerabilidade em relação à mudança climática nos países em desenvolvimento é mais acentuada, e uma das justificativas para isso é que, devido à importância da agricultura e dos recursos hídricos na economia, os países mais pobres estão sujeitos ao clima.

2.2.1 A importância do setor agropecuário para o Brasil e sua vulnerabilidade às mudanças climáticas

O Brasil é um país em desenvolvimento caracterizado por uma economia complexa e

dinâmica, sendo urbano-industrial e possuindo um setor agropecuário de destaque na economia mundial (Brasil, 2016). Segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), o agronegócio foi responsável por 23,2% do PIB do Brasil no ano de 2024, sendo 16,2% oriundos do ramo agrícola.

No Brasil, a agropecuária é destaque, sendo um dos setores mais dinâmicos de sua economia. O setor atende à demanda doméstica por alimentos e matérias-primas industriais, além disso, é um dos grandes responsáveis por equilibrar as contas externas do país (Amaral e Guimarães, 2017). Em maio de 2025 (até a quarta semana do mês), as exportações do setor somam um total de US\$ 5,94 bilhões, representando 24,5% do valor total exportado no mês. Desses US\$ 5,94 bilhões, US\$ 4,38 bilhões são provenientes das exportações de soja, o que representa 18,18% do valor total exportado no mês (Quadro 1) segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Brasil, 2025).

Quadro 1 - Exportações da Agropecuária maio de 2025 (até a quarta semana)

<i>Descrição</i>	<i>Valor</i> <i>US\$ Milhões</i> <i>(Maio de 2025)</i>	<i>Part(%)</i> <i>(Maio de 2025)</i>
A - Agropecuária	5.938,4	24,7
Soja	4.380,1	18,2
Café não torrado	992,2	4,1
Algodão em bruto	253,9	1,1
Animais vivos, não incluído pescados ou crustáceos	89,5	0,4
Frutas e nozes não oleaginosas, frescas ou secas	70,1	0,3
Demais produtos não listados	152,8	0,6

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior / Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (Brasil, 2025).

Para Dias *et al.* (2021), a agropecuária é uma atividade que depende muito de fatores climáticos, e que, por esse motivo, a mudança no clima pode afetar esse setor fortemente com a maior severidade de eventos extremos, aumento na temperatura do ar, desequilíbrios nas espécies, dentre outros.

De acordo com Kurukulasuriya e Rosenthal (2003), uma literatura extensa se desenvolveu sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura, sendo a mensagem geral que emerge dessa literatura a que o grau de vulnerabilidade do setor agrícola às mudanças climáticas depende de uma ampla gama de fatores ambientais e de gestão locais. Segundo os autores, o aumento da incerteza dos efeitos climáticos representa um problema adicional que os agricultores precisam enfrentar.

Uma das formas pela qual o clima terá efeito sobre as culturas será que mudanças na temperatura e na precipitação irão alterar a distribuição das zonas agroecológicas (HULME, 1996 *apud* Kurukulasuriya e Rosenthal, 2003). Em países de latitude baixa (como é o caso do Brasil), espera-se que temperaturas mais altas afetem negativamente as condições de cultivo, principalmente em áreas onde as temperaturas estão próximas ou no nível ideal para o início do crescimento da cultura. Outro impacto oriundo das mudanças na temperatura e na precipitação é a disponibilidade e a demanda por irrigação, que também serão afetadas (Rosenzweig e Hillel, 1995 *apud* Kurukulasuriya e Rosenthal, 2003).

Segundo Castro (2015), dada a dependência da agricultura no que diz respeito às condições meteorológicas e tendo em mente as projeções gerais de mudanças climáticas para os próximos anos, existe um consenso na literatura de que o setor agrícola se apresenta como o de maior vulnerabilidade entre os setores econômicos. Evangelista *et al.* (2017), além de concordarem com esse consenso, afirmam que a imprevisibilidade do clima e o seu difícil controle dão às adversidades climáticas o título de principal fator de risco e de insucesso na produção agrícola.

2.2.2 O impacto das mudanças climáticas na produção de grãos

Estresses abióticos, como por exemplo a seca, o excesso de chuvas, a baixa luminosidade, e temperaturas extremas, podem, em alguma fase do ciclo da cultura, comprometer de forma significativa o rendimento das lavouras, bem como a produção de sementes com qualidade, padrão de uniformidade, e poder de expressão do seu potencial genético (Evangelista *et al.*, 2017).

As sementes apresentam um rendimento sensível a breves episódios de temperaturas quentes, se esses coincidirem com estágios críticos do desenvolvimento da cultura (Wheeler *et al.*, 2000). Segundo Gornall *et al.* (2010), aumentos na temperatura acima de 29°C para o milho, 30°C para a soja e 32°C para o algodão causam um impacto negativo nos rendimentos dessas culturas nos EUA.

Cintra, Melo e Menezes (2020), em sua revisão bibliográfica sobre os impactos ocasionados pelas mudanças climáticas na agricultura, com foco na produtividade de plantas graníferas, constatam que o aumento de 0,3°C até o ano de 2100 afetará as principais plantas graníferas cultivadas no país, o que causará perdas drásticas nas produções de milho, soja e feijão (97,2%, 81,2% e 71,9% de perda, respectivamente). Os autores ainda relatam que é relativamente simples compreender que as mudanças climáticas podem impactar a produção de grãos em todo o mundo de diferentes maneiras por ela estar associada à pressão parcial de CO₂ atmosférico, à temperatura local, e à incidência de pragas e doenças, fatores responsáveis por drásticas reduções de produtividade em culturas graníferas.

Já em relação à escassez hídrica (estresse abiótico mais comumente encontrado), ela pode, no caso da soja, reduzir sua produtividade em cerca de 40% (Evangelista *et al.*, 2017). Em relação ao milho, um estresse hídrico de até dois dias pode reduzir sua produtividade em 20%, enquanto um estresse hídrico de quatro a oito dias pode reduzir a produção em mais de 50% (Sans e Guimarães, 2008).

De acordo com Silva, Silva e Azevedo (2012), os riscos climáticos para o cultivo do algodoeiro herbáceo no nordeste brasileiro aumentam de forma considerável quando os aumentos da temperatura são acompanhados pelo decréscimo de precipitação pluvial. Os autores ainda relatam que o aumento na temperatura média do ar acima de 1,5° C torna-se um fator limitante ao cultivo de algodoeiro na região, mesmo em cenário de aumento da oferta hídrica.

Diante de cenários de redução da precipitação, é provável que ocorra nos anos vindouros a expansão da área irrigada do Matopiba, a fim de manter condições favoráveis ao cultivo de grãos, o que deve acarretar uma maior pressão das atividades agrícolas sobre os recursos hídricos (Silva, 2018). Nesse sentido, assegurar a eficiência na gestão de recursos naturais e garantir sua manutenção para as futuras gerações são duas das grandes questões quando se discute sobre sustentabilidade do empreendimento, aumento da produção e manutenção do bem-estar da população do campo (Conservação Internacional Brasil, 2021).

2.2.3 O papel da agricultura na mitigação das mudanças climáticas

Como mencionado anteriormente, as mudanças climáticas têm se apresentado como um dos maiores desafios da humanidade no século XXI. Os riscos que essas mudanças trazem para o bem-estar dos indivíduos, para a economia das nações e para o equilíbrio do planeta fazem com que ações urgentes e duradouras para mitigação desse problema se façam necessárias. Nesse cenário, o Brasil assumiu internacionalmente o compromisso de reduzir suas emissões de gases causadores do efeito estufa, o qual, em grande parte, precisa ser cumprido pela agricultura brasileira, aumentando a responsabilidade desta para além do fornecimento de alimentos, matérias-primas, energia, e equilíbrio da balança comercial (Costa, Gurgel e Serigati, 2013).

A relevância estratégica do setor agrícola para a mudança do clima se encontra no fato de existir inquestionavelmente uma necessidade de expansão da produção com a finalidade de atender às demandas tanto atuais como futuras de suprimento alimentar. Além disso, a relevância também se dá na premissa de que a expansão da produção não deve contribuir de forma negativa para uma elevação dos níveis atuais de emissões, tampouco deve ocorrer através de processos que resultem em perda de áreas de vegetação nativa, comprometendo, dessa maneira, a sustentabilidade ambiental (Brasil, 2012).

Em relação às estratégias voltadas para a mitigação, tem sido adotada pela comunidade científica a terminologia “agricultura de baixa emissão de carbono” com a finalidade de desenvolver processos e tecnologias que promovam a mitigação da emissão de GEE na agricultura e que possibilitem a adaptação do setor agropecuário à mudança climática (Angelloti e Giongo, 2019). Gurgel e Laurenzana (2016, p. 343) definem agricultura de baixa emissão de carbono como “aquela capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) provenientes da atividade agropecuária através de práticas agrícolas e tecnologias capazes de diminuir a intensidade de emissões.”

O Brasil tem ocupado um papel de protagonista no contexto global nas discussões sobre mitigação e mudança do clima. Foi o primeiro entre os 150 países signatários a assinar a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), e, mesmo tendo sido um dos países emergentes que não foram obrigados a fixar metas de redução de emissões de GEE em acordos internacionais, o país apresentou, durante a realização da 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP-15), um conjunto de ações voluntárias, denominadas Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (Nationally Appropriate Mitigation Actions – Namas), que foram estabelecidas com a finalidade de diminuir suas emissões de GEE (Angelloti e Giongo, 2019).

2.3 Testes empíricos sobre convergência das emissões de gases de efeito estufa

O debate sobre a convergência das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) tem ganhado destaque nas últimas décadas, impulsionado pela urgência em mitigar os impactos das mudanças climáticas e pela necessidade de compreender a dinâmica das emissões entre diferentes territórios. A hipótese de convergência parte da ideia de que, ao longo do tempo, países ou regiões podem reduzir suas disparidades em emissões, convergindo para um padrão comum —em função da difusão de tecnologias mais limpas, da intensificação de políticas ambientais ou da própria dinâmica econômica.

Diversos estudos têm buscado verificar empiricamente essa hipótese, aplicando metodologias que variam desde os testes tradicionais de convergência β e σ até abordagens mais flexíveis, como o modelo de clubes de convergência proposto por Phillips e Sul (2007). Essa metodologia permite identificar subconjuntos de unidades com trajetórias comuns ao longo do tempo, mesmo quando a convergência global não está presente, sendo particularmente útil em contextos com forte heterogeneidade estrutural e produtiva.

Um exemplo importante da aplicação dessa abordagem é o trabalho de Tabosa, Irffi e Penna (2014), que utilizaram o método de clubes de convergência para investigar os preços do milho em treze mercados regionais brasileiros. Os autores identificaram dois clubes distintos, além de mercados que divergiram completamente, evidenciando que, mesmo dentro de um único produto e país as trajetórias podem ser influenciadas por diferentes estruturas de mercado, níveis tecnológicos e logísticas regionais. Esses achados são particularmente relevantes para análises em regiões como o Matopiba, que apresenta alta heterogeneidade produtiva.

Em uma perspectiva voltada diretamente para as emissões de carbono, Ávila e Diniz (2015) analisaram a relação entre crescimento econômico e emissões de CO₂ em uma amostra de 99 países, investigando a presença de uma curva ambiental de Kuznets e a hipótese de convergência. Utilizando dados em painel e modelos como efeitos fixos e System-GMM, os autores encontraram evidências de convergência condicional das emissões per capita, reforçando a ideia de que fatores como renda, estrutura produtiva e regulação ambiental influenciam diretamente a trajetória das emissões nacionais.

Reforçando essa abordagem, Raiher *et al.* (2016) examinaram a convergência da produtividade agropecuária da terra em microrregiões do Sul do Brasil entre 1995 e 2006. Utilizando modelos de econometria espacial, os autores testaram tanto a convergência

absoluta quanto condicional, encontrando evidências robustas desses processos. Os resultados indicam que a convergência se acelera quando se consideram efeitos estruturais regionais e interação espacial entre microrregiões, evidenciando que a trajetória de ajuste no setor agropecuário é influenciada pela heterogeneidade territorial e por fatores locais. Esse padrão justifica o uso de métodos como o teste de clubes de convergência ao analisar as emissões agrícolas no Matopiba, região marcada por dinamismos produtivos diversos.

Além disso, Penna e Linhares (2013) aplicaram diretamente o modelo de Phillips e Sul (2007) para investigar a convergência do PIB per capita da agropecuária entre os estados brasileiros. A análise resultou na formação de três clubes de convergência distintos, evidenciando a presença de trajetórias regionais específicas de crescimento no setor agropecuário nacional. O estudo reforça a adequação do método de clubes de convergência para captar diferenças estruturais e regionais, o que sustenta sua aplicação na presente dissertação.

Dessa forma, a literatura empírica demonstra que a convergência no setor agrícola e ambiental tende a ocorrer de forma heterogênea e condicionada a fatores produtivos, espaciais e institucionais. O uso do modelo de Phillips e Sul (2007) nesta pesquisa visa justamente capturar a presença de possíveis agrupamentos de municípios no Matopiba com trajetórias semelhantes nas emissões agrícolas de GEEs, respeitando a diversidade territorial da região e oferecendo subsídios para políticas públicas diferenciadas.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objetivo identificar a presença de grupos de municípios do Matopiba que apresentem padrões comuns no comportamento das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) ao longo do tempo. Para isso, será utilizado o método de clubes de convergência desenvolvido por Phillips e Sul (2007), cuja abordagem permite investigar a existência de convergência entre as unidades observacionais a partir da evolução de uma variável ao longo do tempo, ainda que não haja convergência global.

Diferentemente dos testes tradicionais de convergência β e σ , o modelo proposto por Phillips e Sul (2007) é construído com base em um modelo de fator comum de coeficientes variantes no tempo. Tal estrutura permite que cada unidade apresente trajetórias heterogêneas durante o processo de transição, incorporando assim a possibilidade de convergência condicional a diferentes padrões de equilíbrio, ou seja, a formação de subgrupos convergentes (clubes).

A metodologia parte da decomposição da variável de interesse x_{it} — neste caso, as emissões de GEEs no município i no período t — em dois componentes: um fator comum μ_t , que representa a tendência agregada compartilhada, e um coeficiente de carga δ_{it} , que capta as especificidades de cada município ao longo do tempo, conforme a equação:

$$x_{it} = \delta_{it}\mu_t \quad (1)$$

Para avaliar a convergência, os autores propõem a construção de uma razão de transição relativa dada por:

$$h_{it} = \frac{x_{it}}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^N x_{it}} \quad (2)$$

Essa razão expressa a posição relativa de cada município em relação à média do grupo no mesmo período. Em situações de convergência, espera-se que $h_{it} \rightarrow 1$, à medida que $t \rightarrow \infty$, indicando que as trajetórias individuais estão se aproximando da média coletiva.

A partir disso, aplica-se o chamado teste log-t, baseado na regressão da forma:

$$\log\left(\frac{H_1}{H_t}\right) - 2 \log L(t) = \alpha + b \log t + u_t \quad (3)$$

em que $H_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2$ representa a variância cross-section da razão de transição em cada período. O coeficiente b está relacionado ao parâmetro α , que indica a velocidade de convergência. A hipótese nula de convergência global é rejeitada se $b < 0$, sugerindo divergência entre os municípios.

Caso a convergência total seja rejeitada, o próprio método fornece um algoritmo para

identificação de subconjuntos de unidades com comportamento convergente. Esse processo, denominado formação de clubes de convergência, consiste em ordenar as unidades com base em seus valores finais de h_{it} , formar grupos iniciais e, sucessivamente, testar a convergência desses grupos até identificar os clubes finais.

A aplicação do método de Phillips e Sul (2007) mostra-se especialmente adequada ao contexto desta pesquisa, dada a heterogeneidade estrutural dos municípios do Matopiba, seja em termos produtivos, ambientais ou socioeconômicos. Além disso, a metodologia permite captar padrões dinâmicos de transição e convergência que seriam dificilmente observáveis por meio de abordagens estáticas ou lineares.

3.1 Etapas da aplicação empírica

A aplicação empírica do teste de clubes de convergência proposto por Phillips e Sul (2007) será conduzida com base em dados anuais de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) provenientes exclusivamente das atividades agrícolas nos municípios que compõem a região do Matopiba, no período de 2000 a 2023. O objetivo é identificar padrões comuns de trajetória nas emissões ao longo do tempo e, caso existam, agrupá-los conforme seu comportamento dinâmico.

Inicialmente, será organizada a base de dados com as estimativas anuais de emissões agrícolas para cada município, obtidas no Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Em seguida, calcula-se a razão de transição relativa h_{it} , dada pela razão entre a emissão de cada município em determinado ano e a média das emissões dos demais municípios naquele mesmo período. Essa etapa permite observar a posição relativa de cada unidade ao longo do tempo e constitui o ponto de partida para a análise de convergência.

Com as séries h_{it} construídas, aplica-se o teste log-t de convergência. Seguindo a recomendação metodológica de Phillips e Sul (2007), a regressão será iniciada a partir de $t = [rT]$, com $r = 0,3$, ou seja, descartando-se os 30% iniciais da série temporal. Essa medida visa reduzir a influência de distorções transitórias e aumentar a precisão do teste de convergência. A regressão é baseada na dinâmica da variância cross-section dessas séries, permitindo verificar se há tendência de convergência global entre os municípios. A hipótese nula de convergência é rejeitada quando o valor da estatística t for inferior a $-1,65$, adotando-se um nível de significância de 5%, conforme proposto pelos autores, indicando que nem todos os municípios seguem uma trajetória comum de emissões.

Caso a convergência global seja rejeitada, procede-se a etapa de formação dos clubes de convergência. Para isso, os municípios são ordenados com base em seus valores finais de h_{it} . A partir dessa ordenação, identifica-se um subconjunto inicial de municípios para o qual a convergência seja estatisticamente confirmada. Os demais municípios são testados quanto à possibilidade de adesão ao grupo inicial. Aqueles que não apresentarem compatibilidade formam novos subconjuntos, repetindo-se o processo até que todos sejam classificados em algum clube ou excluídos por não apresentarem convergência com nenhum grupo.

O processo descrito acima representa a aplicação da metodologia para o que será chamado de cenário 2 (Emissões totais). O mesmo procedimento será realizado para outros dois cenários: emissões ponderadas pela área plantada de cada município em hectares (cenário 1), e emissões totais dos municípios da Bahia (cenário 3). A justificativa para o cenário 3 contemplar apenas os municípios da Bahia se encontra no fato de ele ser o estado que possui a maior média de emissões totais entre os quatro estados que compõem o Matopiba.

3.2 Base de dados

A base de dados utilizada nesta pesquisa será construída a partir de informações anuais referentes às emissões de gases de efeito estufa (GEEs) oriundas exclusivamente das atividades agrícolas nos municípios que integram a região do Matopiba, ao longo do período de 2000 a 2023.

As estimativas de emissões serão obtidas por meio do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), desenvolvido pelo Observatório do Clima, o qual reúne dados detalhados sobre as emissões de GEE no Brasil por setor, fonte e município. Para esta pesquisa, serão consideradas apenas as categorias de emissão relacionadas à atividade agrícola, excluindo-se, portanto, aquelas associadas a outros setores.

As informações extraídas do SEEG incluem a quantidade total de gases emitidos por município, expressa em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e), permitindo a padronização das análises ao longo do tempo. Os dados serão organizados em formato painel, com observações para cada município em cada ano, respeitando a disponibilidade e continuidade da série histórica.

Para a construção da base de dados utilizada no cenário 1 (Emissões ponderadas pela área plantada), foram coletados dados referentes à área plantada de cada ano de todos os municípios pertencentes ao Matopiba através da plataforma SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

4 RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nessa pesquisa.

4.1 Estatística descritiva

Nessa seção, serão apresentados os resultados relacionados à estatística descritiva do trabalho.

Na tabela 2 são apresentados os resultados referentes à estatística descritiva do cenário 1 (emissões ponderadas pela área plantada em ha). O estado que mais emitiu gases causadores do efeito estufa em média foi o estado do Tocantins, com uma média de 7,38727 tCO₂e/ha, em segundo lugar vem o estado da Bahia, com média de 1,66664 tCO₂e/ha, em terceiro o Maranhão, com 1,64274 tCO₂e/ha, e por último, o estado do Piauí, com 0,72799 tCO₂e/ha.

Em relação aos valores máximos e mínimos, o maior valor de emissão encontrado na série foi de 1199,61 tCO₂e/ha no município de Santa Tereza do Tocantins (TO), no ano de 2015, e o menor valor encontrado foi de 0,08 tCO₂e/ha no município de Urbano Santos (MA), no ano de 2008. Já em relação às medidas de dispersão, elas mostram que o estado do Piauí é o que possui os valores mais estáveis e homogêneos da série, enquanto que o estado do Tocantins possui grande variabilidade em seus dados.

Os estados da Bahia e Maranhão apresentaram um comportamento similar, com média de emissões praticamente iguais (1,66664 e 1,64274 tCO₂e/ha respectivamente), e medidas de dispersão com valores próximos.

Tabela 2 – Estatística descritiva do cenário 1.

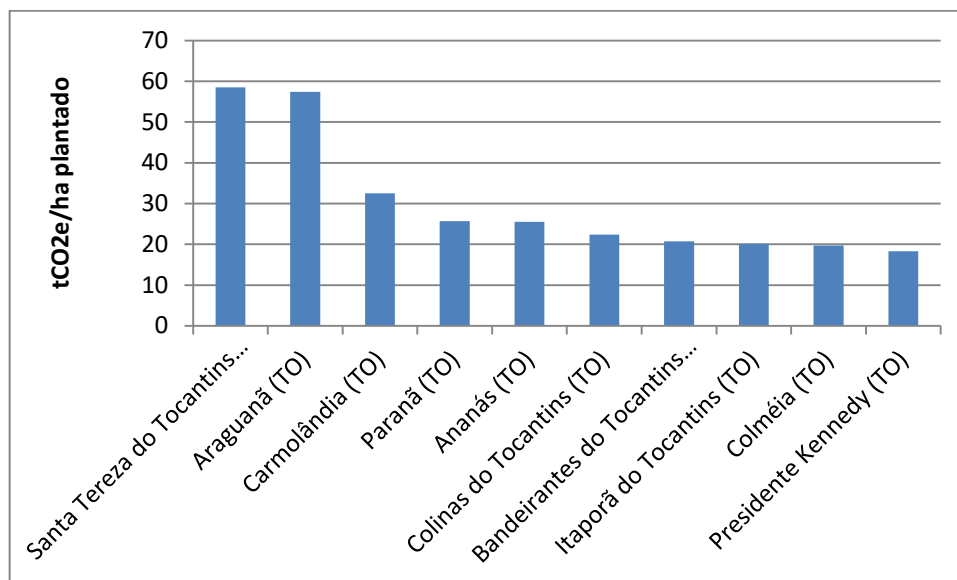
ESTADO	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	DESVIO	
				PADRÃO	CV (%)
BAHIA	1,666644	22,91006	0,295343	2,147915	128,8767
MARANHÃO	1,642736	24,86529	0,080005	2,625233	159,8085
PIAUI	0,727993	2,765451	0,142662	0,368071	50,55976
TOCANTINS	7,387268	1199,606	0,484961	25,27621	342,1591

Fonte: Dados da pesquisa.

Ainda em relação ao cenário 1, o gráfico 2 apresenta um ranking com os 10 municípios que mais emitiram GEEs (tCO₂e/ha plantado) em média no período analisado (2000-2023). O destaque vai para o fato de os 10 municípios pertencerem ao estado do Tocantins, sendo o município de Santa Tereza do Tocantins o que possui a maior média

(58,4822 tCO₂e/ha), fazendo deste o município que possui não somente o maior valor de emissão registrado da série como também a maior média.

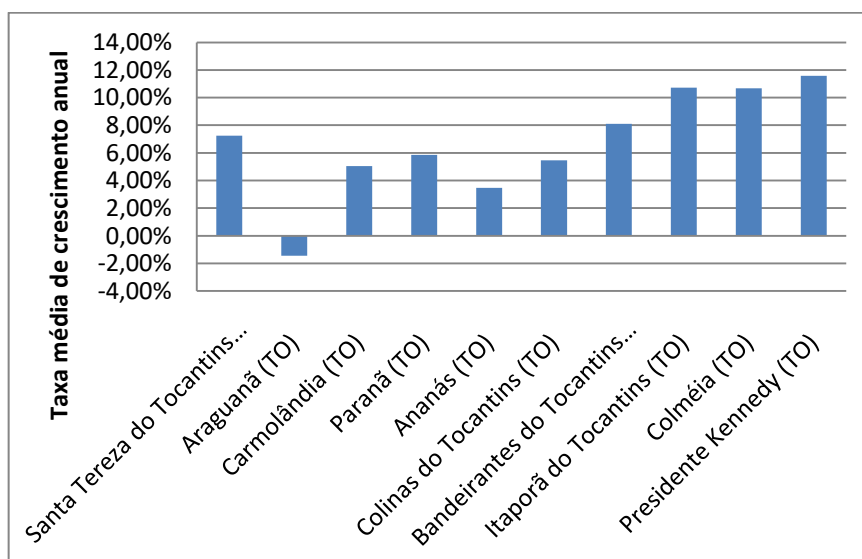
Gráfico 2 – 10 municípios que mais emitiram GEEs (tCO₂e/ha plantado) em média.



Fonte: Dados da pesquisa.

O gráfico 3 apresenta a taxa média de crescimento anual das emissões ponderadas (tCO₂e/ha plantado) para os 10 municípios que mais emitiram tCO₂e/ha plantado em média.

Gráfico 3 – Taxa média de crescimento anual (10 municípios que mais emitiram tCO₂e/ha plantado em média).



Fonte: Dados da pesquisa.

O destaque fica por conta do município de Araguaianã localizado no estado do Tocantins, que apresentou uma taxa média de crescimento anual negativa de -1,444%, ou seja, o município reduziu em média 1,444% ao ano suas emissões de GEEs/ha plantado durante o período analisado.

Já a tabela 3 apresenta os dados da estatística descritiva referente ao cenário 2 (emissão de GEEs em tCO₂e). Diferente do cenário 1, o estado que mais emitiu GEEs em média no cenário 2 foi a Bahia, com média de 36.680 tCO₂e no período analisado (2000-2023). Em segundo lugar aparece o estado do Tocantins com média de 17.888 tCO₂e, seguido pelos estados do Piauí e do Maranhão, com médias de 12.640 e 8.513 tCO₂e respectivamente.

Quanto aos valores máximos e mínimos, o maior valor encontrado na série foi de 468.753 tCO₂e, no município de Santana (BA) no ano de 2023, enquanto o menor valor encontrado foi de 260 tCO₂e, no município de Marcos Parente (PI), no ano de 2015.

Quando se fala em medidas de dispersão, o desvio padrão se revelou elevado em todos os estados, indicando grande heterogeneidade entre os municípios, ou seja, existem municípios com emissões muito superiores ou muito inferiores à média de cada estado, o que evidencia a desigualdade na intensidade de emissões de cada estado, sugerindo uma concentração das atividades agrícolas mais intensivas em áreas específicas. O coeficiente de variação reforça essa interpretação apresentando os valores para os quatro estados acima de 100%, o que indica alta dispersão relativa.

Tabela 3 – Estatística descritiva (Cenário 2).

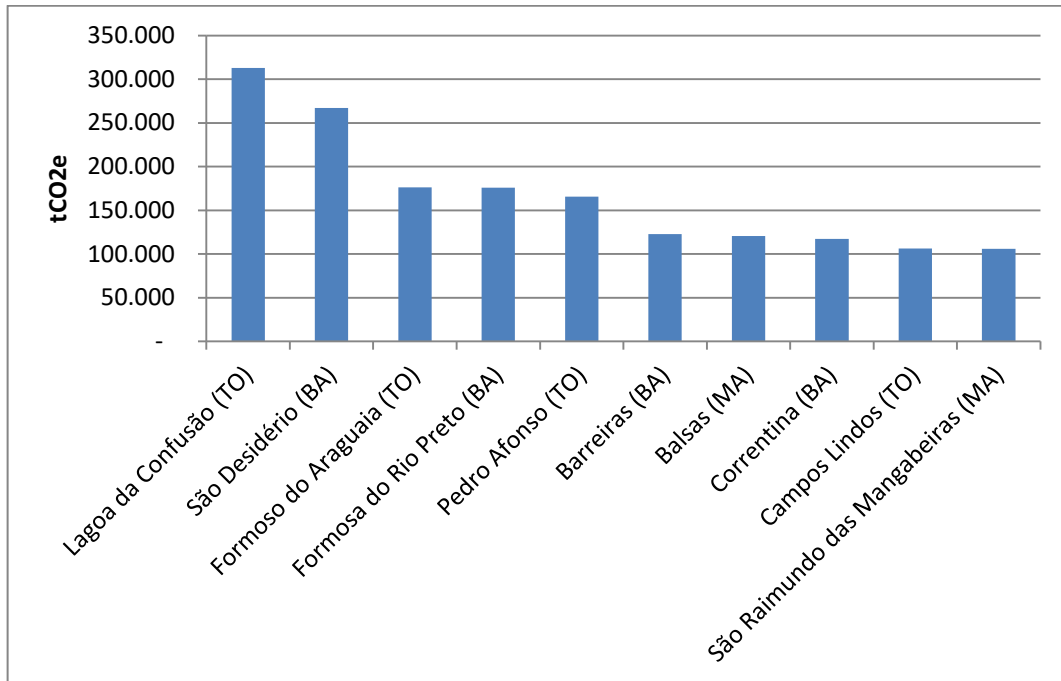
ESTADO	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVIO PADRÃO	CV (%)
BAHIA	36.860	468.753	908	68.893	186,9045
MARANHÃO	8.513	373.009	269	21.298	250,1933
PIAUI	12.640	319.806	260	31.000	245,2569
TOCANTINS	17.888	731.219	505	44.969	251,3967

Fonte: Dados da pesquisa

O gráfico 4 apresenta os 10 municípios que mais emitiram GEEs em média (tCO₂e) no período analisado. Diferente do cenário 1 em que o top 10 era composto somente por municípios do Tocantins, no cenário 2 esse ranking apresenta quatro municípios do Tocantins,

quatro da Bahia e dois do Maranhão. O município que mais emitiu GEEs em média foi o município de Lagoa da Confusão, no Tocantins.

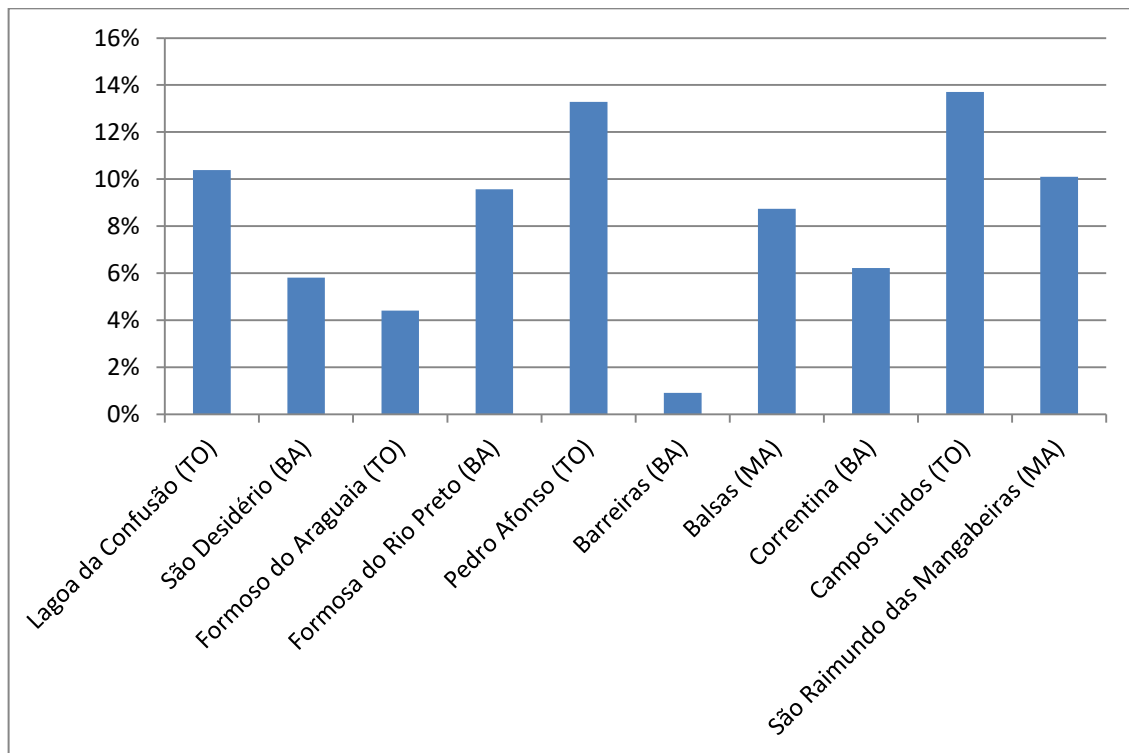
Gráfico 4 – Top 10 municípios que mais emitiram GEEs em média.



Fonte: Dados da pesquisa.

O gráfico 5 apresenta a taxa média de crescimento anual das emissões para os 10 municípios que mais emitiram GEEs em média (tCO₂e). O município que apresentou a maior taxa média de crescimento anual foi o município de Campos Lindos, localizado no Tocantins, com taxa média de crescimento anual de 13,71%. Enquanto que o município que apresentou a menor taxa média de crescimento anual foi o município de Barreiras, localizado na Bahia, com taxa de 0,9185%.

Gráfico 5 – Taxa média de crescimento anual das emissões (10 municípios que mais emitiram GEEs em média no cenário 2).



Fonte: Dados da pesquisa.

A tabela 4 apresenta os resultados referentes à estatística descritiva de cada município do cenário 3. Como no cenário 3 os dados são iguais aos do cenário 2, porém estão inclusos apenas os municípios da Bahia, os valores da média, máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação, referentes ao estado da Bahia como um todo, são os mesmos.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos municípios do cenário 3 (continua).

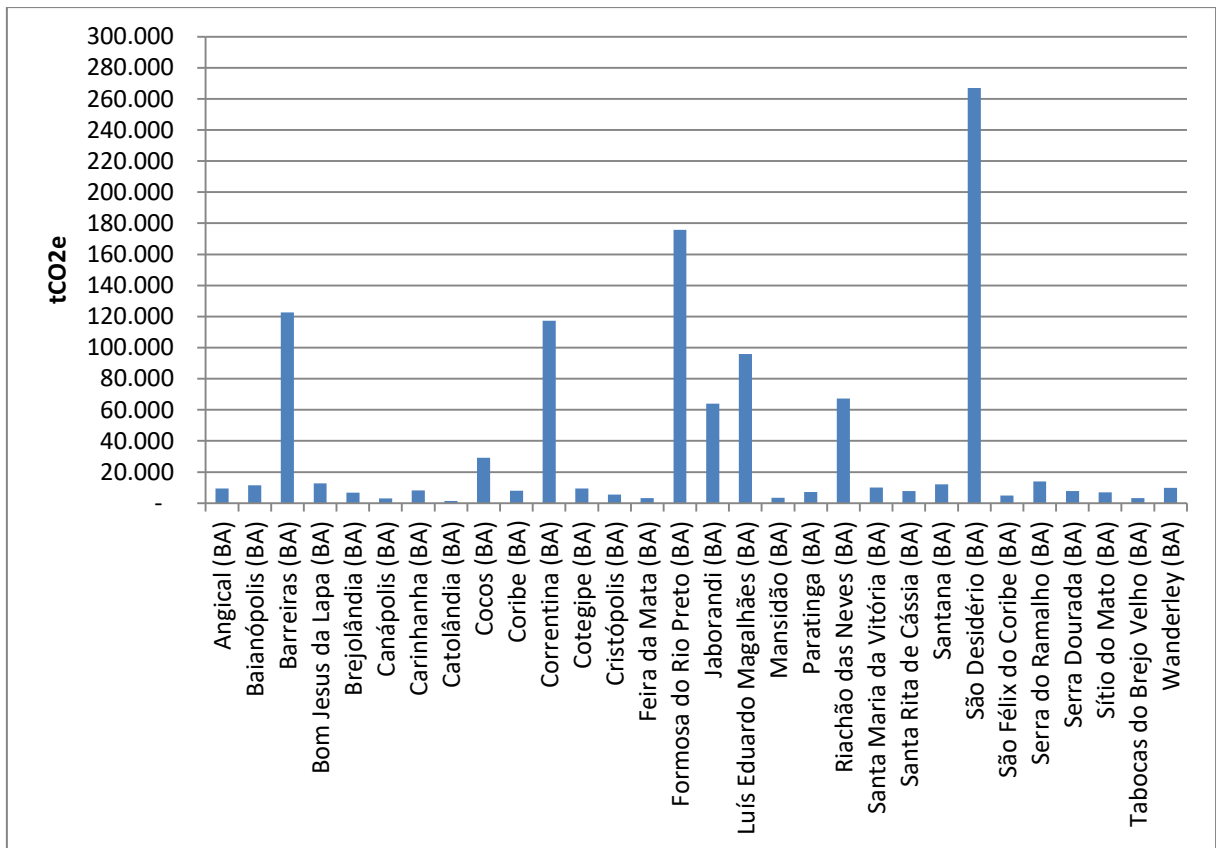
Município	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV.	
				PAD.	CV (%)
Angical (BA)	9.359	30.102	4.239	6683,761	71,41419
Baianópolis (BA)	11.568	17.968	6.842	3371,7	29,14584
Barreiras (BA)	122.686	185.831	55.202	36535,64	29,77969
Bom Jesus da Lapa (BA)	12.791	16.764	10.101	1537,287	12,01829
Brejolândia (BA)	6.815	8.436	6.219	523,233	7,677236
Canápolis (BA)	3.098	4.522	2.390	632,9653	20,42861
Carinhanha (BA)	8.180	9.438	6.819	694,8661	8,494942
Catolândia (BA)	1.379	1.922	908	265,2651	19,23184
Cocos (BA)	29.168	54.010	11.796	10979,49	37,64182
Coribe (BA)	8.064	11.611	5.163	1813,079	22,48493

Tabela 4 – Estatística descritiva dos municípios do cenário 3 (conclusão).

Município	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	DESV.	
				PAD.	CV (%)
Correntina (BA)	117.210	237.303	43.529	63239,96	53,95431
Cotegipe (BA)	9.399	21.805	4.889	3907,707	41,57606
Cristópolis (BA)	5.540	20.341	1.637	4805,326	86,73968
Feira da Mata (BA)	3.315	4.205	2.633	339,2669	10,23292
Formosa do Rio Preto (BA)	175.748	369.411	35.348	109425,5	62,26292
Jaborandi (BA)	64.014	128.030	15.847	34301,92	53,58495
Luís Eduardo Magalhães (BA)	95.932	164.003	1.311	38257,84	39,88035
Mansidão (BA)	3.489	5.463	1.992	797,5977	22,85894
Paratinga (BA)	7.202	10.996	5.002	1837,938	25,52051
Riachão das Neves (BA)	67.249	124.003	24.234	33443,69	49,73141
Santa Maria da Vitória (BA)	9.945	15.226	6.680	2178,388	21,90427
Santa Rita de Cássia (BA)	7.835	10.636	3.883	1509,012	19,26047
Santana (BA)	12.158	18.507	7.564	3238,006	26,63178
São Desidério (BA)	267.039	468.753	108.284	108763,1	40,72924
São Félix do Coribe (BA)	4.894	6.294	3.803	646,8493	13,21829
Serra do Ramalho (BA)	13.938	18.023	8.987	2373,552	17,02931
Serra Dourada (BA)	7.833	9.646	6.877	730,5448	9,326414
Sítio do Mato (BA)	6.892	9.999	4.744	1159,535	16,82323
Tabocas do Brejo Velho (BA)	3.268	4.821	2.553	626,9917	19,18762
Wanderley (BA)	9.786	18.292	5.788	3088,367	31,55939

Fonte: Dados da pesquisa.

O gráfico 6 apresenta a média de emissão dos municípios da Bahia em tCO₂e no período analisado.

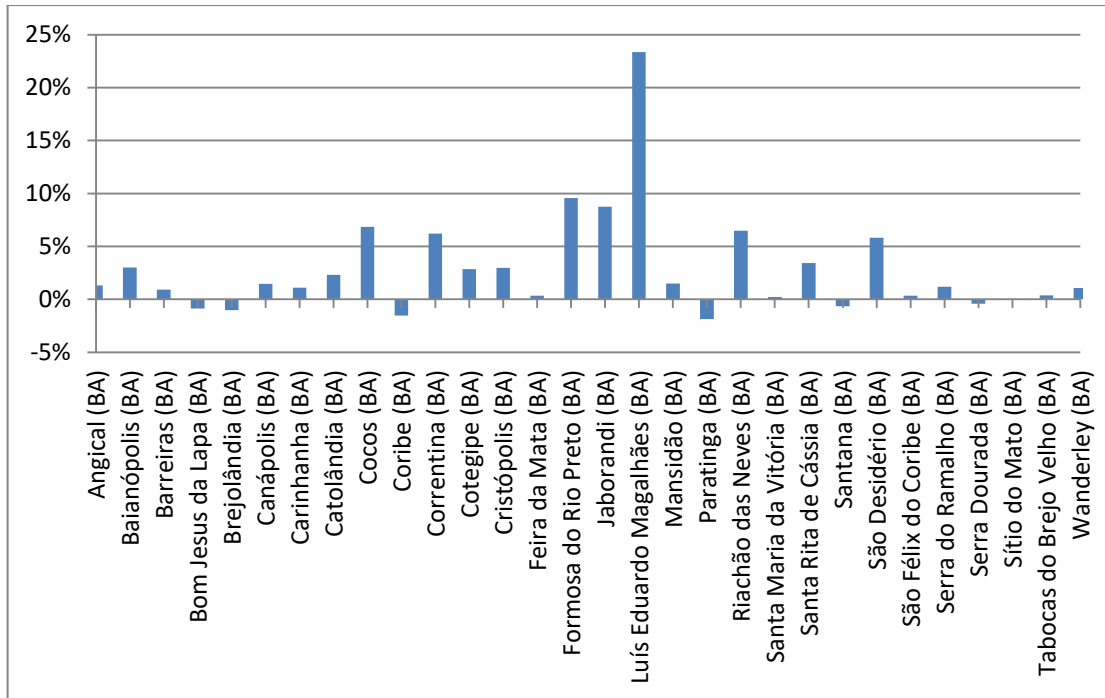
Gráfico 6 – Emissões de tCO₂e (média) dos municípios da Bahia.

Fonte: Dados da pesquisa.

O município que mais emitiu GEEs foi São Desidério, com uma média de 267.039 tCO₂e/ano, seguido por Formosa do Rio Preto (175.748 tCO₂e/ano), Barreiras (122.686 tCO₂e/ano), Correntina (117.210 tCO₂e/ano), e fechando o top 5, Luís Eduardo Magalhães (95.932 tCO₂e/ano). O município que menos emitiu foi Catolândia, com uma média de emissão de 1.379 tCO₂e/ano.

O Gráfico 7 apresenta a taxa média de crescimento anual das emissões dos municípios bahianos.

Gráfico 7 – Taxa média de crescimento anual das emissões dos municípios bahianos.



Fonte: Dados da pesquisa.

Os municípios que apresentaram as cinco maiores taxas médias de crescimento anual foram: Luis Eduardo Magalhães (23,3614%), Formosa do Rio Preto (9,5672%), Jaborandi (8,7524%), Cocos (6,8385%) e Riachão das Neves (6,4873%), enquanto os que apresentaram as cinco menores taxas médias de crescimento anual foram: Paratinga (-1,8702%), Coribe (-1,5184%), Brejolândia (-1,0285%), Bom Jesus da Lapa (-0,8726%) e Santana (-0,6608%).

4.2 Clubes de convergência

Nessa seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após a aplicação da metodologia apresentada na seção 3 para cada cenário criado.

4.2.1 Cenário 1 - Emissões ponderadas

Após a aplicação do teste log-t, a hipótese de nulidade para convergência global foi rejeitada a um nível de significância de 5%. Ou seja, não houve convergência global para o cenário 1. Após a rejeição da hipótese de nulidade para convergência global, segue-se para a etapa de formação de clubes de convergência, em que foi identificada a existência de apenas 1 clube de convergência. Nenhum município foi considerado divergente (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados do cenário 1.

Emissões ponderadas					
Teste log-t					
Beta	Erro Padrão	t-valor	p-valor		
-0,63	0,18	-3,504	0		
Clubes de convergência					
Número de clubes convergentes		1			
Número de unidades divergentes		0			
	# de unidades	Beta	Erro Padrão	t-valor	c*
Clube1	24	1,072	0,993	1,08	0

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.2 Cenário 2 – Emissões totais

Assim como ocorreu no cenário 1, após a aplicação do teste log-t, a hipótese de nulidade para convergência global no cenário 2 foi rejeitada a um nível de significância de 5%. Não havendo convergência global, prosseguiu-se para a etapa de formação de clubes de convergência, nos quais, assim como no cenário 1, foi identificada a presença de apenas 1 clube de convergência com nenhum município sendo considerado divergente (Tabela 6).

Tabela 6 – Resultados do cenário 2.

Emissão total					
Teste log-t					
Beta	Erro Padrão	t-valor	p-valor		
-0,504	0,15	-3,366	0		
Clubes de convergência					
Número de clubes convergentes		1			
Número de unidades divergentes		0			
	# de unidades	Beta	Erro Padrão	t-valor	c*
Clube1	24	2,188	1,723	1,27	0

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.3 Cenário 3 – Municípios baianos

Da mesma forma como aconteceu para os cenários 1 e 2, após a aplicação do teste log-t, a hipótese de nulidade para convergência global foi rejeitada para o cenário 3 a um nível de significância de 5%. A etapa de formação de clubes de convergência, assim como nos dois

cenários anteriores, também identificou a existência de apenas um clube de convergência, com nenhum município tendo sido considerado divergente (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados do cenário 3.

Emissão dos municípios bahianos					
Teste log-t					
Beta	Erro Padrão	t-valor	p-valor		
-1,281	0,611	-2,098	0,018		
Clubes de convergência					
Número de clubes convergentes		1			
Número de unidades divergentes		0			
	# de unidades	Beta	Erro Padrão	t-valor	c*
Clube1	24	0,958	1,125	0,852	0

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.4 Discussão

Os 3 cenários criados para essa pesquisa apresentaram os mesmos resultados: rejeição da hipótese de nulidade de convergência global, formação de 1 clube de convergência com nenhum município sendo considerado divergente. Isso significa que todos os municípios seguem a mesma tendência geral de evolução das emissões ao longo do tempo, ou seja, os municípios são homogêneos quanto à trajetória de emissões.

A hipótese de nulidade de convergência global ter sido rejeitada, mas ocorrer a formação de apenas um clube de convergência, se dá pelo fato de que o teste global é muito sensível a diferenças iniciais nos níveis das séries, e pequenas heterogeneidades no curto prazo podem fazer a hipótese de nulidade ser rejeitada, mas isso não significa que haja divergência real no longo prazo. A criação dos 3 cenários fortalece os resultados obtidos nessa pesquisa pois lhes confere robustez, evidenciando que estes não dependem da métrica utilizada ou do subconjunto de unidades.

Diferentemente do que se esperava devido à heterogeneidade da região, não houve a formação de diferentes clubes de convergência para o Matopiba. Uma possível explicação para a existência de apenas um clube de convergência seria a expansão agrícola que vem ocorrendo na região, fazendo com que o perfil produtivo, políticas ambientais, boas práticas de manejo, e tecnologias utilizadas venham ser difundidos por toda a região.

Segundo dados do IBGE (2024), a área cultivada com soja, milho e algodão herbáceo no Matopiba passou de 1.434.596 ha no ano de 2000 para 7.250.027 ha no ano de 2023. A

área da soja passou de 904.995 ha para 5.288.526 ha, do milho passou de 488.027 ha para 1.605.869 ha, e do algodão passou de 41.574 para 355.632 ha nos respectivos anos.

Para Bolfe *et al.* (2016), o fato de a área colhida de milho de 2ª safra a partir de 2011 ter aumentado de 16 mil ha para 260 mil ha no ano de 2014 mostra que o aumento da área colhida ocorreu também por conta do maior uso das terras que passaram a ser cultivadas duas vezes no ano, dando início ao processo de intensificação agrícola no Matopiba. Os autores ainda destacam que o cultivo da soja no Matopiba já começou tecnificado, com produtividade elevada, e que a disponibilidade de terras aptas à mecanização favoreceu sua intensificação.

Esses fatos corroboram a ideia de que a expansão agrícola que vem ocorrendo no Matopiba tem colaborado para difundir o perfil produtivo, a tecnologia utilizada e as práticas de manejo na região. Além disso, uma explicação complementar para a ocorrência de apenas um clube de convergência seria que as heterogeneidades remanescentes não seriam suficientes para causar uma diferença na trajetória relativa dos municípios.

A existência de apenas um clube de convergência também é um indicador de que políticas públicas (fiscais, ambientais, etc.) exclusivas dos estados parecem não exercer uma grande influência sobre as emissões agrícolas de seus respectivos municípios que compõem a região do Matopiba. Fatores comuns para toda a região irão exercer a mesma influência relativa sobre as emissões agrícolas, por exemplo: impactos na produção agrícola devido a fenômenos naturais, oscilações de preços do bem produzido, aumento dos preços dos insumos, etc, que por sua vez irão impactar indiretamente nas emissões agrícolas.

Saber que todos os municípios pertencentes à região do Matopiba fazem parte do mesmo clube de convergência é muito importante para os elaboradores de políticas públicas. Por possuírem a mesma trajetória relativa, uma política pública que vise à redução de emissões de GEEs que abranja toda a região do Matopiba irá causar uma redução no estado estacionário de equilíbrio de longo prazo desses municípios, o que tende a deslocar a trajetória relativa agregada do grupo para baixo.

Mediante os resultados obtidos nesse estudo, entender o comportamento dos municípios do Matopiba em relação à produção agrícola é de suma importância para uma maior compreensão do cenário agrícola da região.

Algumas das questões que ficam para serem respondidas por estudos futuros são: o comportamento apresentado pelos municípios em relação à produção agrícola será o mesmo que foi apresentado para as emissões agrícolas (rejeição da hipótese de convergência global e formação de apenas um clube de convergência), ou apresentará alguma diferença? Haverá a formação de mais de um clube de convergência? Se houver, que fatores estão causando

diferenças na trajetória relativa dos municípios? Esses fatores são impactantes quando tratamos de emissões agrícolas? Se sim, por que eles não causaram diferenças na trajetória relativa dos municípios para emissões agrícolas? Essas questões, quando respondidas, irão fornecer uma maior clareza sobre a realidade do cenário agrícola do Matopiba.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar a presença de clubes de convergência no que diz respeito a emissões de GEEs oriundas do setor agrícola na região do Matopiba. Para isso, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Phillips e Sul (2007), adequada para este estudo por permitir a identificação de padrões dinâmicos de comportamento entre unidades espaciais ao longo do tempo, mesmo quando estas apresentam trajetórias distintas de partida.

Falando sobre as emissões ponderadas pela área plantada, o estado que mais emitiu gases causadores do efeito estufa em média foi o estado do Tocantins, com uma média de 7,38727 tCO₂e/ha, em segundo lugar vem o estado da Bahia, com média de 1,66664 tCO₂e/ha, em terceiro o Maranhão, com 1,64274 tCO₂e/ha, e por último, o estado do Piauí, com 0,72799 tCO₂e/ha.

Já em relação aos níveis de emissões totais, o estado que mais emitiu GEEs em média foi a Bahia, com média de 36.680 tCO₂e. Em segundo lugar veio o estado do Tocantins, com média de 17.888 tCO₂e, seguido pelos estados do Piauí e do Maranhão, com médias de 12.640 e 8.513 tCO₂e respectivamente.

A respeito dos clubes de convergência, os 3 cenários criados para essa pesquisa apresentaram os mesmos resultados: rejeição da hipótese de nulidade de convergência global, formação de 1 clube de convergência com nenhum município sendo considerado divergente. Isso significa que todos os municípios seguem a mesma tendência geral de evolução das emissões ao longo do tempo, ou seja, os municípios são homogêneos quanto à trajetória de emissões.

Uma das possíveis explicações para esse resultado seria a expansão agrícola que vem ocorrendo na região, fazendo com que o perfil produtivo, as políticas ambientais, as boas práticas de manejo, e as tecnologias utilizadas venham a ser difundidos por toda a região. Além disso, uma explicação complementar seria que as heterogeneidades remanescentes não são suficientes para causar uma diferença na trajetória relativa dos municípios.

Entender que todos os municípios da região do Matopiba pertencem ao mesmo clube de convergência é muito importante para os elaboradores de políticas públicas, pois fatores comuns para toda a região irão exercer a mesma influência relativa sobre as emissões agrícolas.

Como sugestão para estudos seguintes, fica a proposta de um estudo sobre a formação de clubes de convergência para a produção agrícola do Matopiba, pois isso trará uma maior

compreensão sobre a realidade agrícola da região, além da realização desse mesmo estudo sobre a formação de clubes de convergência para a emissão de GEEs para outras regiões e setores produtivos importantes para o Brasil, como o Centro-Oeste e a pecuária, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Gisele Ferreira; GUIMARÃES, Diego Duque. Panoramas setoriais 2030: agropecuária. *In: PANORAMAS setoriais 2030: Desafios e oportunidades para o Brasil*. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. p. 35-42. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14235/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Agropecu%C3%A1ria_P.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.
- ANGELOTTI, Francislene; GIONGO, Vanderlise. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. *In: MELO, Roseli Freire de; VOLTOLINI, Tadeu Vinhas. Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido*. Brasília/Df: Embrapa Semiárido, 2019. p. 445-467. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tadeu-Voltolini/publication/339401542_Agricultura_familiar_dependente_de_chuva_no_Semiario_Family_farming_dependent_of_rain_in_semi-arid/links/5e4fbb4e458515072dacb329/Agricultura-familiar-dependente-de-chuva-no-Semiario-Family-farming-dependent-of-rain-in-semi-arid.pdf#page=446. Acesso em: 28 jun. 2025.
- ÁVILA, Ednilson Sebastião de; DINIZ, Eliezer Martins. Evidências sobre curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões. *Estudos Econômicos*, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 97–126, jan./mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-4161201545197ese>.
- BARBOSA, William. **Expansão da soja e uso da terra no Matopiba**: elementos de uma leitura crítica do processo de modernização agrícola. 2021. 194 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-20052021-141827/publico/William_Barbosa_versao_revisada.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.
- BATISTA, Maria Larissa Bezerra; ALVES, Janaina da Silva; ALVES, Christiane Luci Bezerra; ANDRÉ, Diego de Maria. Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 61, n. 3, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.261413>.
- BELCHIOR, Ernandes Barboza; ALCÂNTARA, Pedro Henrique Rezende; BARBOSA, Cláudio França. **Perspectivas e desafios para a região do Matopiba**. 16. ed. [S. L.]: Núcleo de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017. 3 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1065435/1/CNPASA2017fa16.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- BOLFE, Édson L.; VICTÓRIA, Daniel de C.; CONTINI, Elisio; BAYMA-SILVA, Gustavo; SPINELLI-ARAUJO, Luciana; GOMES, Daniel. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. *Revista de Política Agrícola*, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 38–62, 2017. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1202>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na 46**

agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília: MAPA/MDA, 2012. Disponível em: <https://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wpcontent/uploads/2019/04/Agriculture.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima:** Sumário executivo. Brasília: MCTI, 2016. 45 p. Disponível em: https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/4312/1/2016_terceira_comunicacao_nacional_brasil_convencao_quadro_nacoes_unidas_sobre_mudanca_clima_sumario_executivo.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Secretaria de Comércio Exterior. **Exportações agropecuárias – participação mensal por setor, até a 4ª semana de maio de 2025.** Brasília: MDIC/SECEX, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/comercioexterior/estatisticas/informativos/informativo-2025-027>. Acesso em: 29 maio 2025.

BUAINAIN, Antônio Márcio; GARCIA, Junior Ruiz; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. **Dinâmica da economia e da agropecuária no Matopiba.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2017. (Texto para Discussão, n. 2283). Disponível em: <https://hdl.handle.net/10419/177499>. Acesso em: 2 jul. 2025.

CASTRO, Nicole Rennó. **O impacto de variáveis climáticas sobre o valor da produção agrícola - análise para alguns estados brasileiros.** 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-22042015-151044/publico/Nicole_Renno_Castro.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 23 jun. 2025.

CINTRA, Pedro Henrique Nascimento; MELO, Osmany Francisco Pereira de; MENEZES, Juliana Oliveira da Silva de. Produção agrícola: uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no Brasil. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 87–94, 9 mar. 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9720>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL BRASIL. **Agricultura de baixa emissão de carbono:** conjunto de práticas que contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa oriundos da atividade agropecuária. Brasília, DF: Conservação Internacional Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1139786/1/cartilha-2.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2025.

DIAS, Eric Mateus Soares; PESSOA, Zoraide Souza; TEIXEIRA, Rylanneive Leonardo

Pontes; SILVA, Loren Cassiane Souza. Mudanças climáticas e agropecuária: vulnerabilidades da região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 18, n. 3, p. 20–35, jul./set. 2021. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/2118>. Acesso em: 23 jun. 2025.

EVANGELISTA, Balbino Antonio; SILVA, Fernando Antônio Macena da; SIMON, Jones; CAMPOS, Leonardo José Motta; VALE, Telma Maria do. **Zoneamento de risco climático para determinação de épocas de semeadura da cultura da soja na região MATOPIBA**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1078131>. Acesso em: 23 jun. 2025.

FERREIRA, Francisca Ingrid Gouveia. **Ensaio sobre o impacto do seguro rural na soja produzida no Matopiba**. 2024. 76 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza, 2024.

GORNALL, Jemma; BETTS, Richard; BURKE, Eleanor; CLARK, Robin; CAMP, Joanne; WILLETT, Kate; WILTSHIRE, Andrew. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [S.L.], v. 365, n. 1554, p. 2973-2989, 27 set. 2010. The Royal Society. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>.

GURGEL, Angelo Costa; COSTA, Cecília Fagan; SERIGATI, Felipe. **Agricultura de baixa emissão de carbono: financiando a transição**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, Centro de Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo (FGV EESP), 2013. 36 p. Estudo III – Observatório ABC. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/gurgel_abec_financiando_2013.pdf. Acesso em: 2 jul. 2025.

GURGEL, Angelo Costa; LAURENZANA, Roberto Domenico. DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA AGRICULTURA BRASILEIRA DE BAIXO CARBONO. *In*: VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; GASQUES, José Garcia. **AGRICULTURA, TRANSFORMAÇÃO PRODUTIVA E SUSTENTABILIDADE**. Brasília: Ipea, 2016. p. 343-366. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6876>. Acesso em: 29 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal – PAM: tabela 1612 – Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 29 jun. 2025.

KURUKULASURIYA, Pradeep; ROSENTHAL, Shane. **Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations**. The International Bank for Reconstruction, Washington, n. 91, 2013. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/c9ff28d0-3a9c-5083-84ff-3980479b9e06/content>. Acesso em: 23 jun. 2025.

LUMBRERAS, José Francisco; CARVALHO FILHO, Amaury de; MOTTA, Paulo Emilio Ferreira da; BARROS, Alexandre Hugo Cezar; AGLIO, Mario Luiz Diamante; DART, Ricardo de Oliveira; SILVEIRA, Hilton Luis Ferraz da; QUARTAROLI, Carlos Fernando;

- ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz de; FREITAS, Pedro Luiz de. **Aptidão agrícola das terras do Matopiba**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Embrapa Solos. Documentos, 179). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025303/1/DOC179Matopiba.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- MIRANDA, Evaristo Eduardo de; MAGALHÃES, Lucíola Alves; CARVALHO, Carlos Alberto de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa, 2014. 18 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037313/1/NT1DelimitacaoMatopiba.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- PENNA, Christiano; LINHARES, Fabricio. Uma nota sobre teste da convergência do PIB per capita da agropecuária no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 91–104, jan./mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000100005>.
- PEREIRA, Caroline Nascimento. Estrutura agrária no Matopiba: apontamentos a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 21, p. 75–86, jul./dez. 2019. Brasília: Ipea, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9662>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- PEREIRA, Caroline Nascimento; CASTRO, César Nunes de; PORCIONATO, Gabriela Lanza. Expansão da agricultura no Matopiba e impactos na infraestrutura regional. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 65, n. 1, p. 15–33, jan./jun. 2018. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/rea/rea3-2-18.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- PHILLIPS, Peter C. B.; SUL, Donggyu. Transition modeling and econometric convergence tests. **Econometrica**, v. 75, n. 6, p. 1771–1855, 2007.
- RAIHER, Augusta Pelinski; OLIVEIRA, Renato Alves de; CARMO, Alex Sander Souza do; STEGE, Alysson Luiz. Convergência da produtividade agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 517–536, jul./set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540307>.
- ROCHA, Laiz dos Santos. **Caracterização das zonas produtivas na região do Matopiba. 2023**. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.
- SANS, Luiz Marcelo Aguiar; GUIMARÃES, Daniel Pereira. Zoneamento Agrícola- Riscos climáticos para a cultura do milho. In: CRUZ, José Carlos; KARAM, Décio; MONTEIRO, Márcio A. R.; MAGALHÃES, Paulo César. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 89-97. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/491689/a-cultura-do-milho>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- SILVA, Madson Tavares; SILVA, Vicente de Paula Rodrigues da; AZEVEDO, Pedro Vieira de. O cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no Nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 80–91, jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100011>.

SILVA, Roberta Araújo e. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba**. 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/1454/ROBERTA%20ARA%20C3%9AJO%20E%20SILVA%20-%20TESE%20%28PPGMet%29%202018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jun. 2025.

TABOSA, Francisco José Silva; IRFFI, Guilherme Diniz; PENNA, Christiano Modesto. Análise de clube de convergência para o mercado brasileiro do milho. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa-MG, v. 11, n. 1, p. 235–254, 2014. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/13992/1/2014_art_fjstabosa.pdf. Acesso em: 4 jul. 2025.

WHEELER, Timothy Robert; CRAUFURD, Peter Q; ELLIS, Richard Harold; PORTER, John R; PRASAD, P.V Vara. Temperature variability and the yield of annual crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.L.], v. 82, n. 1-3, p. 159-167, dez. 2000. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0167-8809\(00\)00224-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00224-3).