

# ESTUDOS SOBRE A VARIABILIDADE E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: Observações, impactos, adaptação e mitigação

EMERSON MARIANO DA SILVA  
JOSÉ MARIA BRABO ALVES  
(Organizadores)





**Universidade Estadual da Paraíba**  
Profª. Célia Regina Diniz | Reitora  
Profª. Ivonildes da Silva Fonseca | Vice-Reitora



**Editora da Universidade Estadual da Paraíba**  
Alberto Soares de Melo | Diretor

**Conselho Editorial**

Alessandra Ximenes da Silva (UEPB)  
Antonio Roberto Faustino da Costa (UEPB)  
Cidoval Morais de Sousa (UEPB)  
José Etham de Lucena Barbosa (UEPB)  
José Luciano Albino Barbosa (UEPB)  
Melânia Nóbrega Pereira de Farias (UEPB)  
Patrícia Cristina de Aragão (UEPB)



Editora indexada no SciELO desde 2012



Editora filiada a ABEU  
Associação Brasileira  
das Editoras Universitárias

**EDITORIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

Complexo Adm. Redentorista - Av. Dr. Francisco Pinto, nº 317, Bairro Universitário.  
CEP: 58429-350. Campina Grande – PB.

Emerson Mariano da Silva  
José Maria Brabo Alves  
(Organizadores)

# **Estudos sobre a Variabilidade e as Mudanças Climáticas no Semiárido Cearense: Observações, impactos, adaptação e mitigação**



Campina Grande-PB  
2025



**Editora da Universidade Estadual da Paraíba**  
Alberto Soares de Melo | Diretor

**Expediente EDUEPB**

*Design Gráfico e Editoração*

Erick Ferreira Cabral

Jefferson Ricardo Lima A. Nunes

Leonardo Ramos Araujo

*Assessoria Técnica*

Thaise Cabral Arruda

*Assessorias*

Antonio de Brito Freire

Carlos Alberto de Araujo Nacre

Danielle Correia Gomes

Elizete Amaral de Medeiros

Efigênio Moura

Depósito legal na Câmara Brasileira do Livro - CDL

E79

Estudos sobre a variabilidade e as mudanças climáticas no semiárido cearense [recurso eletrônico] : observações, impactos, adaptação e mitigação / organização de Emerson Mariano da Silva e José Maria Brabo Alves. - Campina Grande : EDUEPB, 2025.  
214 p. : il. color.

ISBN: 978-65-268-0083-6 (34.668 KB - PDF)

1. Climatologia. 2. Desertificação. 3. Mudanças Climáticas.  
I. Silva, Emerson Mariano da. II. Alves, José Maria Brabo. III.  
Título.

21. ed. CDD 551.6

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Mirelle de Almeida Silva – CRB-15/483

Copyright © **EDUEPB**

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Secas, variabilidade climática e migração interna no estado do Ceará: Estudo dos casos encontrados entre os períodos 1979/1983 e 2012/2016 .....</b> | <b>9</b>  |
| <i>Waldejares Silva de Oliveira</i>   |           |
| <i>José Maria Brabo Alves</i>   |           |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |           |
| <b>Estudo da Climatologia das Chuvas de pré-estação chuvosa em Municípios de Diferentes Regiões do Estado do Ceará.....</b>                             | <b>33</b> |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |           |
| <i>Arthur Feitosa Moreira</i>   |           |
| <i>Carlos Edson Nepomuceno de Lima</i>  |           |
| <i>Lucas Sampaio de Queiroz Nascimento</i>  |           |
| <i>Matheus do Reis Brandão</i>  |           |
| <i>Yuri Menezes do Nascimento</i>   |           |
| <b>Variabilidade das Chuvas e a Produtividade Agrícola Familiar na Região do Maciço de Baturité no Estado do Ceará – Brasil.....</b>                    | <b>61</b> |
| <i>Roberto José Almeida de Pontes</i>   |           |
| <i>Zilma Nunes de Melo</i>  |           |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |           |
| <b>Vulnerabilidade do Solo em Áreas de Desertificação: Estudo de Caso no Município de Morada Nova no Ceará.....</b>                                     | <b>79</b> |
| <i>Carlos Phelipe Barbosa de Alcântara</i>  |           |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |           |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Impactos Futuros da Variabilidade do Clima e das Mudanças Climáticas no Processo de Desertificação no Estado do Ceará.....</b>                 | <b>97</b>  |
| <i>Roberto José Almeida de Pontes</i>   |            |
| <i>Thiago Pinheiro de Farias</i>  |            |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |            |
| <br>  |            |
| <b>Análise das Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) Associadas ao Uso de Usinas Termelétricas no Brasil.....</b>                              | <b>119</b> |
| <i>José Alan Kardec de Sousa</i>  |            |
| <i>Alexandre Araújo Costa</i>   |            |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |            |
| <br>  |            |
| <b>O Desafio de 1,5 °C e os Cenários Globais para Evitar o Caos Climático.....</b>  | <b>151</b> |
| <i>Jesus Vinícius Moreira Holanda</i>   |            |
| <i>Alexandre Araújo Costa</i>   |            |
| <br>  |            |
| <b>Adaptação às Variabilidades e Mudanças Climáticas com Tecnologias Sociais nas Áreas Susceptíveis à Desertificação do Estado Do Ceará .....</b> | <b>173</b> |
| <i>Ana Paula Lima dos Reis</i>  |            |
| <i>Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante</i>   |            |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |            |
| <i>Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima</i>  |            |
| <br>  |            |
| <b>Mitigação Climática e Restauração Florestal em Enclaves de Floresta Tropical Úmida do Semiárido Brasileiro.....</b>                            | <b>197</b> |
| <i>Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante</i>   |            |
| <i>Ney Sandro Vieira de Souza</i>   |            |
| <i>Silvoneudo Oliveira do Nascimento</i>  |            |
| <i>Emerson Mariano da Silva</i>   |            |

# **SECAS, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E MIGRAÇÃO INTERNA NO ESTADO DO CEARÁ: ESTUDO DOS CASOS ENCONTRADOS ENTRE OS PERÍODOS 1979/1983 E 2012/2016**

*Waldejares Silva de Oliveira*

*José Maria Brabo Alves*

*Emerson Mariano da Silva*

## **INTRODUÇÃO**

O longo histórico dos registros de períodos com baixa pluviosidade, denominados de secas, no estado do Ceará começou há mais de quatrocentos anos. Foi quando o Forte de São Tiago, fundado em 1604 por Pero Coelho de Souza, registrado como a primeira edificação portuguesa erguida onde hoje é a cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, foi abandonado por causa da intempérie que havia atingido a capitania entre 1605 e 1607 (Farias, 2007).

Entre os anos de 1877 e 1879 uma seca de grandes proporções provocou o deslocamento de milhares de retirantes para a cidade de Fortaleza, que na época vivia uma fase de prosperidade graças ao ciclo do algodão comercializado para a Inglaterra, chamado por alguns de “Belle Époque”, quando houve inclusive o incremento de equipamentos urbanos tais como a Construção da Santa Casa de Misericórdia, inaugurada em 1861, do estabelecimento do Seminário da Prainha em 1864, a construção do Colégio da Imaculada Conceição em 1865, do Liceu do Ceará que

fundado em 1845 para auxiliar na formação dos cearenses, entre outros. Enfim, neste período registrou-se o projeto de reordenamento urbano da capital cearense, que a partir de 1875 ficou sob a responsabilidade do arquiteto Adolfo Herbster (Ponte, 2009).

No entanto, nenhuma dessas melhorias urbanas de fato preparou a cidade para o que estava por vir. Rodolfo Teófilo, testemunha ocular dos acontecimentos da época, estima que neste período foram registrados 110.000 retirantes do total de 130.000 habitantes que seria a população da capital cearense (Téofilo, 1977). A falta de condições estruturais para absorver tamanha chegada de pessoas levou à criação dos abarracamentos, que serviram como locais de retenção de retirantes nos arredores da cidade.

Outro evento de seca que trouxe impactos na população migrante para a capital cearense foi registrado no ano de 1915, quando a autoridade estadual optou por uma mudança significativa no modo de tratar os migrantes que chegavam à cidade, ou seja, concentrar todos os que chegavam à cidade em um único ponto e não espalhados como se fizera no evento anterior (Belik, 2023). Surgindo, assim, o que se convencionou chamar de campo de concentração, localizado onde é atualmente o Bairro Alagadiço na zona oeste da cidade, próximo às estações de trem no centro da cidade, de onde os indesejados seriam facilmente levados ao chegar à capital.

Em 1932 registrou-se mais um período de estiagem extrema em que se registrou o êxodo rural e mais uma vez a solução foi o confinamento de pessoas tidas como indesejáveis e pejorativamente chamadas de “molambudos” em campos de concentração. Dessa vez localizados em cinco cidades cearenses, sendo dois desses na capital, um no Bairro Alagadiço onde fora localizada uma dessas instalações em 1915 (Rios, 2014), o outro localizado

onde atualmente é a comunidade do Oitão Preto, conhecido como Campo do Urubu na região central da cidade.

Essa região deu origem ao Bairro do Pirambu, atualmente ainda classificado como a maior comunidade socialmente vulnerável da cidade, herança dos muitos retirantes que preferiram ficar na cidade após o período de intempéries, e assim construíram suas habitações improvisadas que se localizam próximas à beira mar (Silva, 2006)

As secas no estado do Ceará são associadas a ocorrência de fenômenos meteorológicos e climáticos como *El Niño*, conforme citam França et al (2018) e Pinheiro (2018). Os impactos socioeconômicos destes fenômenos são objetos deste estudo, que não são exclusivos das regiões semiáridas cearenses, pois existem registros de ocorrências semelhantes em outras regiões áridas e semiáridas do mundo, como na Índia (Chandala, 2017; Mujumdar et al., 2020) e na Etiópia onde os efeitos da ocorrência do *El Niño* são conhecidos desde as secas registradas nos anos 70 do século 20 e nos anos 10 do século 21. No ano de 1977 a população etíope afetada pela seca foi em torno de oito milhões de pessoas e que no ano de 2015 esse quantitativo chegou a onze milhões de pessoas afetadas pela seca (Getachew, 2018).

No que diz respeito aos processos de mitigação associados aos efeitos da variabilidade climática, os casos indiano e etíope se assemelham com o que se passou e se passa na região semiárida do Brasil, em particular no estado do Ceará. Assim, se encontram a criação de órgãos governamentais como uma das medidas governamentais para o combate a seca, tais como a Comissão de Socorro e Reabilitação (RRC) em 1976, definida como ponto básico de atuação a distribuição emergencial de alimentos aos flagelados da seca.

Após o desastre socioambiental associado a seca ocorrida entre os anos de 1983 e 1984 a RRC foi substituída pela Comissão

de Prevenção e Preparação para Desastres (DPPC) para relacionar o trabalho de socorro emergencial com a assistência ao desenvolvimento e estabelecer um sistema de gestão para o trabalho de socorro emergencial nas regiões afetadas pelas secas.

A DPPC evoluiu para Agência de Preparação e Prevenção de Desastres (DPPA) e Gabinete de Coordenação de Segurança Alimentar (FSCB), porém, mesmo com melhoria significativa na operacionalidade constatou-se que a abordagem dos órgãos governamentais se limitava a uma atuação reativa e de gestão de crises, o que impactava sobremaneira na pobreza da população afetada que no ano de 2015 alcançou cerca de 8,6 milhões de pessoas (Getachew, 2018).

Menciona-se que a falta de políticas governamentais de adaptação, conivência e mitigação dos efeitos das secas, proporciona o aumento da pobreza e da migração da população em busca de oportunidades de empregos nos grandes centros urbanos, em particular em no setor da construção civil que não exige qualificações, principalmente nas funções que são movidas pelo uso da força humana, como é o caso do emprego da mão de obra dos retirantes em grandes obras públicas, fato que certamente serviu de modelo para o Brasil Imperial atuar no estado do Ceará (Hobsbawm, 1998; Teutschbein, 2017; Secreto, 2018).

Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a relação entre os períodos de seca (1979 a 1983 e 2012 a 2016) e o crescimento populacional na cidade de Fortaleza, capital cearense, em particular nas áreas classificadas como periferia da cidade. Nestes períodos foram registrados a ocorrência de duas das mais severas secas da história do estado do Ceará, em que se teria recebido aproximadamente 350.000 flagelados, somente em 1979/1983, que se alojaram na periferia da cidade (Villa, 2000; Almeida, 2021).

Em adição, são discutidas as ações governamentais que ajudaram a diminuir as consequências da seca registrada no segundo período em estudo (2012/2016) em relação ao primeiro (1979/1983), especialmente as ações associadas as políticas sociais, de gerenciamento e de segurança hídrica adotadas no estado do Ceará.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste estudo foram usados os dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com o objetivo de quantificar a população da capital cearense nos dois períodos de seca abordados. Em adição, foram usadas as informações sobre as chuvas observadas no estado do Ceará nestes períodos, obtidas no banco de dados meteorológicos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCME) para validar a classificação dos períodos secos (1979/1983 e 2012/2016) nestas regiões.

Além disso foram usadas as informações do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica (IPECE) referentes ao período de 2012 a 2016 sobre a estimativa de população na capital cearense e para investigar a influência da variabilidade climática nos fluxos migratórios para a cidade de Fortaleza e as principais características desse deslocamento.

## **3 RESULTADO E DISCUSSÕES**

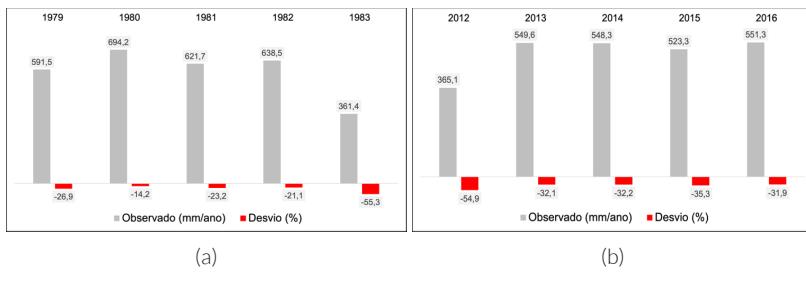
O conceito de seca é bastante amplo, segundo Nunes e Medeiros (2020) e Almeida (2021), esse conceito se distribui em quatro dimensões. Meteorológica, quando as precipitações estão abaixo da média climatológica, também denominada de normal climatológica. Agrícola, quando a quantidade de água é

insuficiente para garantir o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Hidrológica, quando há uma redução em níveis médios de água em reservatórios e socioeconômica que expressa a dimensão em níveis de atividades econômicas.

Diante disso, os dois períodos em estudo (1979/1983 e 2012/2016) podem ser classificados de seca meteorológica, visto que a média pluviométrica anual nas diversas regiões do estado do Ceará registrou valores abaixo da normal climatológica que para estes períodos é de 809,1 mm/ano, conforme mostram os mapas da Figura 1 (a e b).

Se observam que nesses períodos em estudos todos os desvios (%) das chuvas observadas em relação a média, ou a normal climatológica, são negativos. Situação que se reflete em todas as regiões do estado do Ceará.

**Figura 1** – Chuvas observadas no estado do Ceará.



**Fonte:** FUNCEME, 2025.

Os impactos socioeconômicos observados nos dois períodos de secas são significativamente diferentes, os dados do censo demográfico de 1980, segundo ano da estiagem que havia se iniciado em 1979, mostra o aumento no número de migrantes que se deslocaram para a capital do estado (Tabela 1).

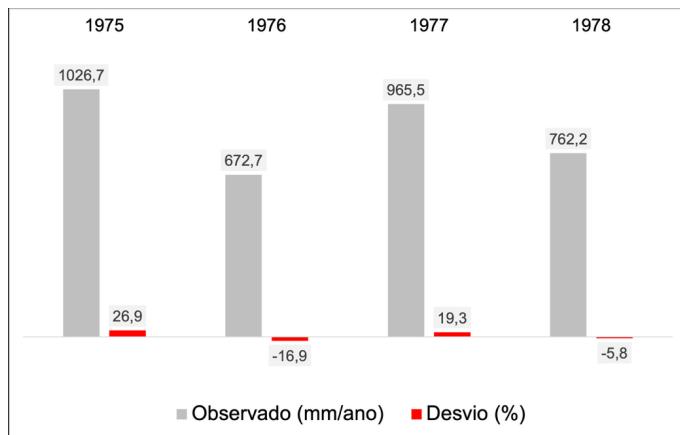
**Tabela 1** – Migrações para Fortaleza no censo de 1980.

| Período         | Total de Migrantes | Homens | Mulheres |
|-----------------|--------------------|--------|----------|
| Até 1 ano antes | 78.154             | 33.456 | 44.698   |
| 1 ano antes     | 44.052             | 18.946 | 23.106   |
| 2 anos antes    | 46.130             | 20.391 | 25.199   |
| 3 anos antes    | 40.244             | 18.149 | 22.095   |
| 4 anos antes    | 33.040             | 14.720 | 18.320   |

**Fonte:** IBGE (1980).

Evidencia-se um aumento de 92,6% de migrantes que chegam à capital cearense no ano imediatamente anterior ao censo, que coincide com o primeiro ano da seca meteorológica, em relação à média dos quatro anos anteriores. Ou seja, as consequências do período de seca, em seu primeiro ano, mandaram para a capital cearense 37.287 pessoas a mais que a média dos quatro anos anteriores (40.866), período em que foram registradas precipitação pluviométricas próximas da normal climatológica, como mostra a Figura 2.

**Figura 2** – Chuvas no Ceará (1975-1978).



**Fonte:** FUNCME, 2025.

O fluxo de migrações internas não deveria ser visto como surpreendente, pois o conceito de migração considera um “movimento de indivíduos de um determinado espaço geográfico que possuem constantemente um motivo ou um comportamento padrão, seguindo, em muitos casos, uma perspectiva cultural, social, política, econômica e ambiental” (Ojima; Fusco, 2017).

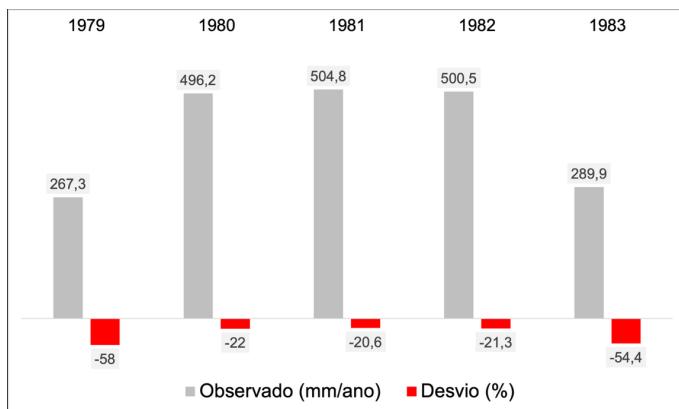
Assim, pelo menos duas das condicionantes que justificavam a migração para a capital cearense nestes períodos de seca podem ser identificadas neste estudo. A condicionante ambiental (seca meteorológica) e a política, posto que em 1979 não se identificou programas governamentais que atendessem emergencialmente as populações impactadas (Villa, 2001). Neste período apenas foram encontrados os registros dos Programas Especiais de Desenvolvimento Rural Integrado (Polonordeste, Projeto Sertanejo, Prohidro e Programa de Irrigação) que deveriam em conjunto amenizar os problemas de uma seca prolongada nestas regiões (Campos, 2003).

Porém, tais medidas foram hipossuficientes para combater e/ou mitigar os efeitos de cinco anos seguidos de estiagem. Diante da ineficiência das medidas preventivas, coube ao governo atenuar os problemas com as soluções dos chamados “Bolsões de Emergência” que eram frentes de trabalho para a construção de barragens, poços e estradas, assim como descrito nas soluções adotadas no período do Brasil Imperial, conforme descrito na literatura (Hobsbawm, 1998; Teutschbein, 2017; Secreto, 2018).

As manchetes dos jornais da época davam conta da pressão social advinda das consequências de quase cinco anos de chuva abaixo da média. Ataques a depósitos da Companhia Brasileira de Alimentação (COBAL) que foi criada pelo governo e fazia parte dos programas sociais de abastecimento com comercialização de gêneros alimentícios a preços populares, atendendo principalmente famílias de baixa renda que eram vistos como alvos

preferenciais por armazenar os estoques de regulação de itens de alimentação básica e estarem localizados próximos a áreas mais expostas aos impactos das variabilidades climáticas do período. Como por exemplo aconteceu na cidade de Canindé, localizada na Macrorregião do Sertão Central e Inhamuns (Freitas, 2011). As médias anuais de 1979 a 1983 e os desvios em relação a normal pluviométrica da região são mostradas no Figura 3.

**Figura 3** – Chuvas observadas em Canindé/CE.



**Fonte:** FUNCEME, 2025.

Comparando-se as médias climatológicas das chuvas do estado do Ceará com as chuvas observadas no ano de 1983, observa-se um desvio de -55,3% e com a média da região de Canindé se observa um desvio de -54,4%. Assim, fica evidente a motivação da migração da população para a capital cearense, por se encontrarem desassistidos, limitados apenas a continuidade das frentes de emergência e expostos a fome e os impactos socioeconômicos (Campos, 2002).

Os relatos sobre os impactos da carência sofrida pela população desta região podem ser vistos em matérias da mídia impressa da época (Figuras 4 e 5), em que se encontram expressões tais

como “multidão faminta” e “flagelados”. Tais expressões seguramente não remetem apenas a um suposto sensacionalismo da mídia, mas fazem menção a uma dramática realidade vivida por esta população, levada a conviver com a estiagem.

Nestas reportagens também se encontra menção a um grupo de cerca de cem famílias de camponeses da cidade Itapipoca na microrregião do Litoral do Pecém, onde a precipitação na quadra chuvosa do ano de 1983 foi 44,7% abaixo da normal climatológica, que acampados na sede do governo estadual receberam a distribuição de cestas básicas em frente a Catedral Metropolitana de Fortaleza, como mostra a Figura 6. Situação também descrita em Neves (2003) e Pinheiro (2014).

**Figura 4** – “Multidão faminta saqueia posto da Cobal no Ceará”, matéria do Jornal do Brasil de 16 de agosto de 1983.



**Fonte:** Memorial da Democracia (<https://memoraldademocracia.com.br/>).

**Figura 5** – “Oito mil flagelados saqueiam um armazém”, matéria do Jornal Folha de São Paulo de 16 de agosto de 1983.

## Oito mil flagelados saqueiam um armazém

A invasão ocorreu em Canindé, no Ceará

**FORTALEZA** — Cerca de oito mil flagelados invadiram ontem a cidade de Canindé, a 101 quilômetros de Fortaleza, no centro-norte do Estado, e saquearam o armazém da Cobil, levando roupas, cestas de vime, R\$ 17 milhos e mais Cr\$ 700 mil em dinheiro de um dos cofres. Outros Cr\$ 900 mil ficaram intatos porque outro entre os religiosos deu golpes de picaretas dentro do armazém.

Eles começaram a chegar na cidade às 2 horas da manhã, alertados pela notícia transmitida pela rádio Uirapuru, de Canindé, que “mil a mil” invasores iam distribuir roupas e alimentos.

“Ocorre que eram apenas duas toneladas de víveres e roupas, quando saíram necessárias pelo menos toneladas para atender as ‘oito mil pessoas’”, revelou o delegado Napoleão Tim Bó.

Como apenas 800 dos flagelados receberam donativos, o delegado murmurou que “o resto veio só para arrebentar o armazém da Cobil. Cerca de 300 sacos de feijão e 220 de arroz foram retirados em apenas uma hora pelos saqueadores, alguns deles sem comer há cinco dias”.

A Companhia da Polícia Militar instalada no município contava apenas

com 15 soldados, mas conseguiram impedir a invasão do mercado central. Os flagelados ainda destruíram móveis e outros objetos da loja, roubaram dinheiro e levaram para o Igrejão de Assis, perto do centro, o ônibus.

Os acontecimentos, todavia, não foram presenciados pelo prefeito Ivani Magalhães, que estava em Belo Horizonte e o presidente da Câmara Municipal, Elias Encantado, se fora da cidade. O gerente da Cobil estava em Fortaleza, prestando contas à gerência regional da Cemig. Vários ônibus que o trazem da capital para Canindé Agora, mais 15 soldados foram transferidos para o município para auxiliar no policiamento ostensivo no centro da cidade.

O cardenal-arcebispo de Fortaleza, dom Alécio Lomagundi, no entanto, iniciou imediatamente a missa poliana e campanha de ajuda aos flagelados — três dias de jejum para reverter o desabroho dos alimentos da Cobil. Ele também informou que “mais de 30 das autoridades que ‘estão deixando nossos irmãos morrerem de fome’”.

Já o frade franciscano, Lucio Dolic, de Canindé, culiou: “as misericórdias por tudo que está acontecendo eu aliás poderei aconecer”.

**Fonte:** Memorial da Democracia (<https://memoraldademocracia.com.br/>).

**Figura 6** – Sertanejos aguardam distribuição de alimentos em de Fortaleza.



**Fonte:** Memorial da Democracia (<https://memoraldademocracia.com.br/>).

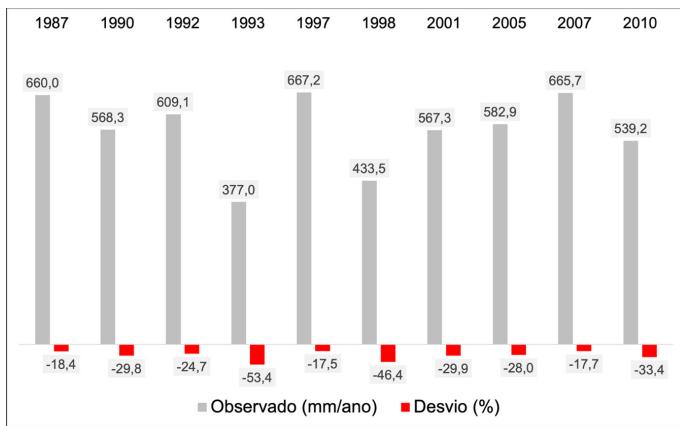
Ressalta-se que a marcha de camponeses em busca de assistência na capital e o ataque em Canindé no ano de 1983, ambos associados aos efeitos da seca climatológica observada no Ceará, apresentaram desfechos diferentes, possivelmente porque em Canindé se observou cerca de cinco mil pessoas marchando em direção a capital e apenas oitocentas dessas pessoas receberam as cestas básicas disponíveis.

Essas similaridades reforçam a falta de uma política de convivência com a seca neste período, e a adoção de medidas mitigatórias, características do que se pode chamar de “Indústria da Seca” reforçam a centralização do poder, além de possibilitar o desvio de recursos financeiros para os grandes proprietários de terras, segundo Linhares et al. (2021).

Entre os anos de 1984 e 2012 os registros disponíveis apresentam alguns outros períodos caracterizados como de seca meteorológica no Ceará, cabendo um destaque para o ano de 1993, em que a média das chuvas observadas foi de 377,0 mm, ou seja, 53,1% abaixo da normal climatológica, conforme mostrado na Figura 7 a seguir.

No que diz respeito à política de gestão dos recursos hídricos cearense, a partir de 1983 foi criado um grupo de estudo com o objetivo de propor uma nova política de segurança hídrica para o estado. Dentro desta proposta, em 1987 (ano de seca) foi implantado um sistema institucional para a gestão dos recursos hídricos cearense, composto pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH), pela Superintendência de Obras Hidráulicas (Sohidra) e pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCENAME) (SRH, 2016). Em adição, dentro desta mesma perspectiva, em 1993 foi criada a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH, como entidade gerenciadora do Sistema de Segurança Hídrica do estado do Ceará.

**Figura 7** – Chuvas classificadas como seca meteorológica no estado do Ceará no período entre os anos de 1984 e 2012.



**Fonte:** FUNCeme (2025).

Mesmo sob tal atividade de planejamento e gerenciamento, a seca de 1992/1993 quase provocou o colapso de abastecimento de água na capital cearense e trouxe de volta as migrações e saques, conforme descrito por Farias (2007):

“Fortaleza ‘inchou’ com os retirantes, e viu ameaçado o abastecimento de água, que só não foi ao colapso porque numa verdadeira ‘operação de guerra’ construiu-se em apenas três meses, usando mão de obra de cinco mil homens, o denominado ‘Canal do Trabalhador’, o qual, com seus 115km de extensão trouxe água do Rio Jaguaribe para a capital.”

Construído de maneira emergencial, o Canal do Trabalhador pode ser considerado como a primeira iniciativa governamental visando a segurança hídrica por meio de transposição de águas entre as regiões cearenses, que teve prosseguimento com outros projetos, tais como o Eixão das Águas e o Cinturão das Águas do Ceará (SRH, 2016).

Porém, ainda mais impactante que a política de Recursos Hídricos é, sem dúvida, o conjunto de ações relacionadas ao convívio com a seca, ou seja, estratégias que colaborem para que as populações que vivem em áreas expostas às estiagens possam conviver com os registros de chuvas abaixo da normal climatológica, como é o Programa 1 Milhão de Cisternas, que se propõe a construir cisternas no semiárido brasileiro com apoio do Programa Água para Todos do Governo Federal (Almeida, 2021).

Com relação aos mecanismos de amparo social, menciona-se que a implantação do Programa Bolsa Família pelo Governo Federal foi decisiva para que a pressão de retirantes, flagelados ou migrantes, sobre a capital cearense tenha sido reduzida neste período.

Neste contexto, de acordo com Leão, Moreira e Cunha (2016), este programa social, segundo informações do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) beneficiou cerca de 6,57 milhões de famílias beneficiárias em 2004 e 13,35 milhões em 2011.

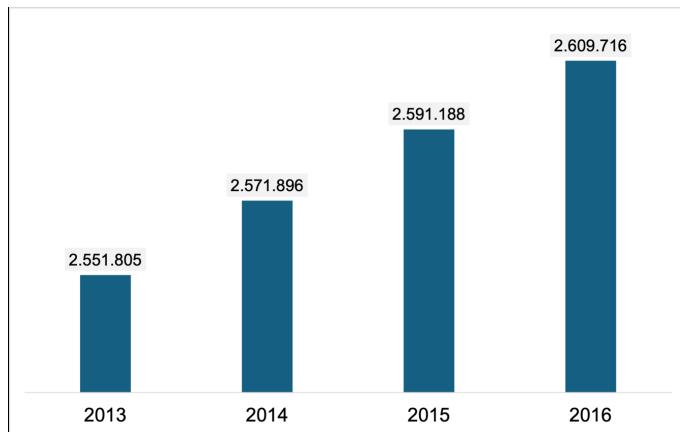
No caso específico do Ceará, no ano de 2012 cerca de 3,8 milhões de pessoas (aproximadamente 45% da população total) foram assistidas por este programa de transferência de renda e o repasse de recursos foram da ordem de R\$ 1,6 bilhão (IPECE, 2013). Ou seja, ao contrário de 1983, quando a população mais carente estava exposta à própria sorte e apelava para o ataque a depósitos de cereais ou migrava para a capital do Estado em busca de melhores condições de vida, desta feita houve um programa de assistência social que garantiu a renda mínima para as famílias enfrentar os dissabores da miséria advinda da seca meteorológica.

Este fato relaciona-se com os impactos socioeconômicos associados à migração interna no estado do Ceará, e no indicador do aumento da expectativa da população de capital cearense no período de 2012 a 2016 que não foi consideravelmente maior do

que no período anterior (1979/1983). Segundo o IBGE, no ano 2.000 a população desta região era de 2.141.402 habitantes e em 2010 era de 2.452.185, ou seja, no período em que houve três ocorrências de seca (2001, 2005 e 2010) a população cresceu cerca de 28.253 habitantes por ano (IPECE, 2012).

A estimativa de crescimento da população no período de 2012 a 2016, período em se observou uma grande seca meteorológica, foi em média de 21.904 habitantes por ano, conforme mostrado na Figura 8, que mostra crescimento populacional menor do que o encontrado no evento anterior (1979/1983). Este aumento representou um crescimento populacional de 2,2% em relação à população estimada do primeiro ano de seca, menor do que em 1980, cujo crescimento de 78.154 habitantes vindos apenas da migração representou o aumento de 5,97% em relação ao total de habitantes naquele ano.

**Figura 8** – Expectativa de crescimento da população de Fortaleza entre 2012 e 2016.



**Fonte:** IPECE (2025).

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados discutidos neste estudo nos permitem concluir que a soma das ações de três eixos distintos da atuação das políticas de governo, que são a criação de órgãos governamentais de planejamento e gestão de ações contra a seca, a implantação de programas de segurança hídrica, por meio da construção de reservatórios e/ou por transposição de águas para entre as regiões do semiárido cearense, e a implantação de programas e/ou projetos sociais de convivência com a seca, podem diminuir a vulnerabilidade socioambiental das populações que estão nestas regiões, bem como controlar a migração de pessoas dessas regiões para a capital cearense, diminuindo os riscos de voltar acontecer a superlotação e os saques observados no período de 1979 a 1983.

Ao comparar o caso estudado com as situações semelhantes ocorridas com os indianos e etíopes, também severamente impactados pela ocorrência das secas severas, onde não houve significativas mudança de atuação governamental e os impactados socioeconômicos ainda são similares aos de quarenta anos atrás, é possível corroborar a conclusão descrita acima.

Neste contexto, menciona-se que o processo de migração humana, em particular o motivada por fatores climáticos e em regiões áridas e semiáridas, requer cada vez mais estudos e investimentos em ações de convivência, adaptação e mitigação dos efeitos das secas, em especial no período atual, ante o agravamento das condições limites e o aumento significativamente da ocorrência dos eventos climáticos extremos, tais como os períodos prolongados de secas.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, Moisés Eudócio. **Variabilidade Climática, seca e impacto migratório no Estado do Ceará**, 2021. Dissertação 90 f. Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2021.

Almeida, M. E.; da Silva, E. M.; Alves, J. M. A.; Rodrigues, T. A. Variabilidade Climática com Ênfase a Precipitação e o Impacto Migratório no Estado do Ceará (1960-2010). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3 (Suplemento), 651-660, 2021 rbmet.org.br. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630044>

ALPINO, Tais Ariza; SENA, Alderita Ricarda Martins de; FRETIAS, Carlos Machado de. Desastres relacionados à seca e à saúde coletiva: Uma revisão da literatura científica. **Ciência e Saúde Coletiva**, volume 21, número 3, 2016, p. 809-820. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.21392015>

ALVES, Joaquim. **História das Secas – Séculos XVII a XIX**. Edição fac-símile. Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 2003.

BARROS, Luciana Ximenes. **Nem todos fugiam da seca**. Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH, São Paulo, julho 2011

BELIK, Laura. Campos de concentração no Ceará (1915, 1932): Histórias apagadas do processo de urbanização de Fortaleza. In Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 20, Belém, 2023, Anais... Disponível em: <https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st06-13.pdf>. Acesso em 14 jan. 2025.

BRASIL, Thomas Pompeu de Sousa. **Ensaio Estatístico da Província do Ceará** – Tomo I. Edição fac-símile. Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 1997.

BRASIL, Thomas Pompeu de Sousa. **Ensaio Estatístico da Província do Ceará** – Tomo II. Edição fac-símile. Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 1997.

BRUNO, Artur. **Fortaleza: 290 anos**. Revista do Instituto do Ceará – 2016.

CAMPOS, Nivalda Aparecida. Trabalho: A Grande Seca de 1977 a 1983, um estudo de caso das ações do governo federal em duas sub-regiões do Ceará (Sertão Central e Sertão dos Inhamuns). In: Congresso Brasileiro de Sociologia, 1, 2003, Campinas, São Paulo.

CAMPOS, Nivalda Aparecida. **A Grande Seca de 1977 a 1983, um estudo de caso das ações do governo federal em duas sub-regiões do Ceará (Sertão Central e Sertão dos Inhamuns)**, Dissertação 174p (Mestrado em Ciências Sociais) Universidade Federal de São Carlos, 2004.

CAMPOS, Nelson Luís Bezerra. **História do Ceará no Vestibular**. Fortaleza: Smille Editorial, 2008.

CHANDRA, Prakash Kala. Environmental and Socioeconomic Impacts of Drought in India: Lessons for Drought Management. **Applied Ecology and Environmental Sciences**. 2017, 5(2), 43-48. DOI: 10.12691/aees-5-2-3.

CORREIA, I.; BARBIERI, A.F. Vulnerabilidade à seca e (i)mobilidade no Nordeste brasileiro: partir ou resistir? **Sustainability in Debate**

- Brasília, v. 10, n.2, p. 125-141, ago/2019. doi:10.18472/SustDeb. v10n2.2019.19806.

CORTEZ, H.S.; LIMA, G.P.; SAKAMOTO, M.S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. A seca nos Estados. Brasília, v. 22, n. 44, p. 83-118, jan-jun, 2017.

D'Loan Silva Leão, I., Belchior Silva Moreira, T., & Cunha, G. (2020). Impactos do Bolsa Família sobre a Pobreza e a Desigualdade no Nordeste. **Hegemonia**, (20), 27. <https://doi.org/10.47695/hegemonia.vi20.188>.

ENOS, CPTEC, INPE. Ocorrência do El Niño. Disponível em <http://enos.cptec.inpe.br/~renos/misc/elnino.html>. Acessado em 09/06/2024.

FARIAS, José Airton de. **História do Ceará**. 2. ed. Fortaleza: Edições Livro Técnico, 2007.

Fortaleza [recurso eletrônico]: **transformações na ordem urbana /** [edição] Maria Clélia Lustosa Costa, Renato Pequeno. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrópoles, 2015.

FRANÇA, Manoel Vieira de; FERRAZ, Juan Xavier Vieira; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; HOLANDA, Romildo Morant; ROLIM Neto, Fernando Cartaxo. El niño e la niña e suas contribuições na disponibilidade hídrica dos municípios de São Bento do Una e Serra Talhada – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 8, n. 1 (2018) páginas 15 – 21.

FREITAS, José Joardavan Camelo de. **A importância da Gestão da qualidade na Ceasa do Distrito Federal**. Relatório de Estágio de

Graduação em Gestão do Agronegócio, apresentado à Faculdade UnB – Campus Planaltina. Brasília, 2011

**FUNCENE. Ceará Passa Pela Pior Seca Prolongada Desde 1910.** Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2016. Disponível em <http://www.funceme.br/?p=1403>. Acessado em 22 de maio de 2024.

**FUNCENE. Calendário das Chuvas.** Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2024. Disponível em <https://chuvas.funceme.br/diario/municipios/maxima/2024/5>. Acesso em 22 de maio de 2024.

GETACHEW, Alem Mera. Drought and its impacts in Ethiopia. **Weather and Climate Extremes**, Volume 22, 2018, Pages 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.10.002>.

GIRÃO, Raimundo. **História econômica do Ceará**. 2 ed. Fortaleza: Casa José de Alencar/Programa Editorial, 2000.

GIRÃO, Raimundo. **Geografia estética de Fortaleza**. Fortaleza: Casa José de Alencar/Programa Editorial, 1997.

HOBSBAWN, Eric J. **A Era dos extremos**: A breve história do Século XX (1914-1991) São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

IBGE. **IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios em 2016**. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/9497-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municípios-em-2016>. Acesso em 30 de maio de 2024

IBGE. **IX Recenseamento Geral do Brasil** - 1980. Rio de Janeiro: IBGE, 1982.

IBGE. **Sinopse preliminar do Censo Demográfico 2000.** Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IPECE. **Enfoque econômico:** A Importância do Bolsa Família para a Dinâmica Econômica dos Municípios Cearenses. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, n. 86, outubro, 2013.

IPECE. **Informe:** Edição Especial. Perfil Municipal de Fortaleza. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, n. 38, agosto de 2012.

IPECE. Perfil Básico Municipal. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2016.

LINHARES, L. I. M.; XIMENES, A.V. S. F. M.; MONTEIRO, J. B. Secas e políticas públicas no semiárido brasileiro: Um debate oportuno acerca do binômio combate a seca X convivência com o semiárido. **Geopauta**, Vitória da Conquista. ISSN: 2594-5033, V. 5, n.3, 2021, e9233.

LIRA NETO, Raimundo. **A vacina sem revolta:** a luta de Rodolfo Teóphilo contra o poder e a peste. São Paulo: Bella Editora, 2022.

Martins, E.S.P. R; Magalhães A. E. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. Políticas Nacionais das Secas. Ed. Esp, Brasília, v. 20, n. 41, p. 107-128, jul-dez 2015.

MUJUMDAR, M. et al. (2020). **Droughts and Floods.** In: Krishnan, R., Sanjay, J., Gnanaseelan, C., Mujumdar, M., Kulkarni, A., Chakraborty, S. (eds) Assessment of Climate Change over the Indian Region. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4327-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4327-2_6).

NEVES, Frederico de Castro Neves. Estranhos na *Belle Époque*: A multidão como sujeito político (Fortaleza, 1877-1915) Trajetos.

**Revista de História UFC.** Fortaleza, vol. 3, nº 6, 2005.

NEVES, Frederico de Castro Neves. “**Desbriamento**” e “**perversão**”: Olhares ilustrados sobre os retirantes de seca de 1877. Projeto História, São Paulo (27), p. 167-189, dezembro de 2003.

NEVES, Frederico de Castro. Seca, pobreza e política: o que é politicamente correto para os pobres? Trajetos - **Revista de História da UFC**, Fortaleza, v. 7, n. 13, p. 186-201, 2009.

Nunes, L. F. C. V., & Medeiros, P. H. A. (2020). Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 17 e18. <https://doi.org/10.21168/rega.v17e18>

OJIMA, R.; FUSCO, W. Migração no semiárido setentrional: Dinâmica recente, retorno e políticas sociais. Mediações - **Revista de Ciências Sociais**, v. 22, n. 1, p. 325-349, 2017.

PEREIRA, Bruno Silva; NUNES, Luiz Fabiano Camilo, Viana; ALEXANDRE, Deborah Mithya Barros; ARAÚJO, José Carlos; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto. Desastres e Água. Eventos históricos no Brasil. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/375890905\\_Seca\\_no\\_Ceara\\_2012-2017](https://www.researchgate.net/publication/375890905_Seca_no_Ceara_2012-2017). Acesso em 30 de maio de 2024.

PINHEIRO, Enzo *et al.* Relação Entre Duração dos Eventos de El Niño com as Condições do Atlântico Tropical e a Precipitação no Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, 497-508, 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786333009>.

PINHEIRO Neto, Armando. **De Curral da Fome a Campo Santo:** O Campo de Concentração de retirantes na Seca de 1915 em Fortaleza. 133 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em História. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2014.

PONTE, Sebastião Rogério. **Fortaleza Belle Époque:** Reforma urbana e controle social 1860-1930. 5 ed. Fortaleza: Edições Demócrata Rocha, 2014.

RABELO, Udinarte Prata; LIMA, Iran E. Neto. Efeito de secas prolongadas nos recursos hídricos de uma região semiárida: uma análise comparativa para o Ceará. **Revista DAE**; núm. 212; vol. 66; Edição Especial 2018; DOI: 10.4322/dae.2018.023.

RIOS, Kênia Souza. **Isolamento e poder:** Fortaleza e os campos de concentração na seca de 1932. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

SECRETO, María Verónica. A seca de 1877-1879 no Império do Brasil: dos ensinamentos do senador Pompeu aos de André Rebouças: trabalhadores e mercado. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.27, n.1, jan.-mar. 2020, p.33-51.

SILVA, Debora Marques da. **Pirambu e suas geografias.** Dissertação 197f. Curso de Mestrado em Geografia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2006.

SILVA, José Borzachiello da. **Quando os incomodados não se retiram:** uma análise dos movimentos sociais de Fortaleza. Fortaleza: Multigraf Editora, 1992.

SRH. **Histórico**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2016.  
Disponível em <https://www.srh.ce.gov.br/historico/>. Acessado em 22 de maio 2024.

SOARES, E. do A. & VIDAL E. M. (2022). O reordenamento da rede escolar de Fortaleza no período pós-LDB. **Revista de Educação UNISINOS**. <https://doi.org/10.4013/edu.2022.261.06>

SOUSA, Simone de (org.) **Uma nova História do Ceará**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2000.

TEOPHILO, Rodolfo. **Varíola e vacinação no Ceará, 1904**. Edição fac-símile. Fortaleza: Fundação Waldemar Alcântara, 1997.

TEOPHILO, Rodolfo. **A seca de 1915**. Fortaleza: Edições UFC, 1980.

Teutschbein, C., Albrecht, F., Blicharska, M. et al. Drought hazards and stakeholder perception: Unraveling the interlinkages between drought severity, perceived impacts, preparedness, and management. **Ambio**, v.52, p.1262–1281 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01849-w>

VIEIRA, Sophia Lerche. **Histórias da educação no Ceará**: sobre promessas fatos e feitos. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2002

VIEIRA, Sophia Lerche; De FARIA, Isabel Maria Sabino. **Política Educacional no Brasil – Introdução Histórica**. 3 ed. Brasília: Liber Livros, 2011.

VILLA, Marco Antonio. **Vida e morte no Sertão**. São Paulo: Ática, 2000.

# **ESTUDO DA CLIMATOLOGIA DAS CHUVAS DE PRÉ-ESTAÇÃO CHUVOSA EM MUNÍCIPIOS DE DIFERENTES REGIÕES DO ESTADO DO CEARÁ**

*Emerson Mariano da Silva*

*Arthur Feitosa Moreira*

*Carlos Edson Nepomuceno de Lima*

*Lucas Sampaio de Queiroz Nascimento*

*Matheus do Reis Brandão*

*Yuri Menezes do Nascimento*

## **INTRODUÇÃO**

O estudo das chuvas de pré-estação nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil (NEB), em particular no mês de dezembro em regiões cearenses, é importante para o planejamento de ações que objetivam apoiar a agricultura familiar, bem como visam mitigar os efeitos dos desastres naturais (enchentes e alagamentos) nos grandes centros urbanos e pode também indicar a qualidade da quadra chuvosa nestas regiões.

Brito e Nobre (1991) evidenciaram a importância dos estudos do regime de chuvas de pré-estação na região norte do NEB e desenvolveram um modelo estatístico baseado na ocorrência destas chuvas para a previsão das chuvas no período da estação chuvosa (fevereiro a maio) na região. Observaram que existem correlações estatisticamente significativas ao nível de 99% entre a precipitação observada na pré-estação e a observada na estação chuvosa desta região.

Em zonas urbanas se encontra o trabalho de Muniz e Caracristi (2021) que avaliaram a umidade relativa do ar no período de pré-estação chuvosa em um município da região semiárida do NEB. Os autores usaram cinco estações de medidas das variáveis meteorológicas distribuídas em pontos distintos da cidade de Sobral/CE e assim diagnosticaram a atuação atípica da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) com registro de chuvas no período estudado.

Os estudos realizados por Soares et al. (2007) e Ramos et al. (2020) demonstram que o método dos Quantis é uma ferramenta eficaz para a análise das chuvas observadas em diferentes escalas temporais e espaciais e que permite identificar padrões sazonais e anuais, além de facilitar o planejamento de medidas preventivas para o enfrentamento dos períodos de seca e de chuvas intensas nas regiões.

Em adição, estes autores concordam que a aplicação deste método possibilita o monitoramento preciso das variações climáticas e destacam a importância dessas análises estatísticas para o planejamento e para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação, adaptação e convivência com os efeitos dos desastres naturais, como secas e inundações, ações que visam promover a resiliência das comunidades diante os efeitos destas variabilidades e das mudanças climáticas.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é investigar o comportamento das chuvas de pré-estação em regiões contidas no estado do Ceará, regiões que estão localizadas no litoral, no sertão e no cariri cearense, com a identificação dos eventos classificados como extremamente chuvosos nestas regiões.

## **2 USO DA TÉCNICAS DOS QUANTIS EM ESTUDOS CLIMATOLÓGICOS**

A aplicação do método dos Quantis em estudos climáticos em diversas regiões do país é descrita em Xavier et al. (2002). Nesta publicação os autores apresentam os conceitos associados as inferências estatísticas e as possibilidades do uso deste método em análises espaço-temporal de ocorrências de anos classificados climatologicamente como de secos a chuvosos para diversas regiões brasileiras.

Assim, seguindo a indicação destes autores, vários outros estudos com a aplicação deste método foram desenvolvidos ao longo dos últimos anos. Para a região sul do país se encontra o estudo de Gouveia et al. (2021) em que foram estabelecidos os valores normais e extremos para as chuvas observadas na bacia do Rio Itajaí, utilizando dados de precipitação das estações convencionais da Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 1930-2013, com o objetivo de auxiliar na gestão destes recursos naturais.

Santos e Galvani (2019) apresentaram para a região do Litoral Norte Paulista uma análise dos eventos extremos de precipitação através da aplicação desta técnica. Os resultados do estudo mostraram que os eventos extremos na região apresentam uma variação sazonal e que a maior frequência de ocorrência destes eventos é concentrada na estação mais chuvosa da região (verão e primavera), corroborando com os resultados encontrados na literatura para a área de estudo.

Os autores ainda mencionam que a compreensão da ocorrência dos eventos extremos em uma região é relevante para o planejamento de ações de previsão e de prevenção das consequências dos desastres naturais, bem como para a padronização das análises que podem auxiliar na definição da relação entre as

chuvas e os desastres naturais ocorridos em uma determinada região.

Santos et al. (2023) aplicaram a técnica dos Quantis para determinação da climatologia das chuvas em São Pedro da Serra (RJ) e para classificar os anos do período estudado (2006 e 2021) em classes que vão de muito seco a muito chuvoso, definindo os extremos de ocorrência destes eventos. Assim, os autores afirmam que estudos desta natureza contribuem para além da caracterização climatológica de uma região, e que podem contribuir para a realização de estudos geográficos e geomorfológicos de uma determinada região vulnerável a ocorrência de desastres naturais associados a ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Silva et al. (2023) usaram a técnica dos Quantis para a caracterização climáticas térmica extrema na região da zona da mata pernambucana no período de 1950 a 2017. Assim, afirmam que estes estudos auxiliam na tomada de decisões em práticas agrícolas e no planejamento do uso dos recursos hídricos em regiões do nordeste brasileiro.

Monteiro et al. (2022) investigaram através do método dos Quantis a ocorrência dos desastres naturais ocasionados por estiagens (eventos extremos) em regiões do estado do Ceará, região semiárida do nordeste brasileiro. Assim, estes autores também concluíram que a aplicação desta técnica possibilita uma melhor orientação para prevenções e respostas a estes desastres, em particular em região onde habitam comunidades classificadas como de alto grau de vulnerabilidade social.

Ainda para regiões cearenses, se encontra o estudo publicado por Luna et al. (2024) que aplicaram o método dos Quantis para a determinação dos máximos e para a análise de eventos extremos de chuva diária observados na região de Juazeiro do Norte/CE, no período de 1991 a 2021. Assim, os autores conseguiram identificar que a ocorrência destes eventos tem maior frequência durante

o período chuvoso da região, em particular no mês de março por influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

### **3 METODOLOGIA**

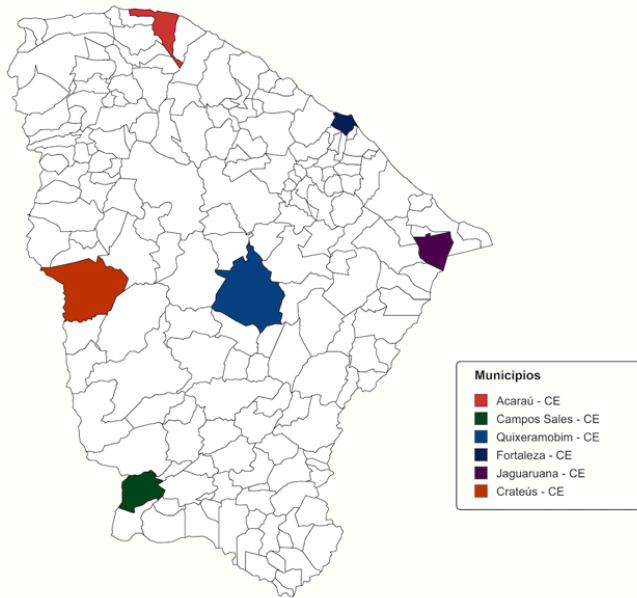
No estudo foram usados os valores dos totais mensais das chuvas observadas nos municípios destacados na Figura 1, disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) e no portal eletrônico da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCUME ([www.funceme.br](http://www.funceme.br)).

O uso das informações destes diferentes bancos de dados é necessário por conta das descontinuidades (falhas) observadas nas séries temporais obtidas para o período de 1994 a 2023, que representa a climatologia dos trinta anos recentes. Assim, para a obtenção da climatologia foram considerados os dados das estações convencionais e automáticas do INMET, e para a classificação dos meses de dezembro/2024 e janeiro/2025 foram considerados as informações obtidas no portal da FUNCUME.

Foram obtidas a climatologia mensal das chuvas em cada uma das regiões e aplicado o método dos Quantis para classificar o total das chuvas mensais observadas. Conforme indicado na literatura, estes valores mensais foram colocados em ordem crescente e calculado seus respectivos valores de probabilidade de Kimball (), onde  $n$  é o número de ordem e  $N$  é o número total de observações (Xavier et al., 2002; Soares et al., 2007; Sena et al., 2019; Ramos et al., 2020).

Assim, foram classificados os anos nas categorias determinadas (Tabela 1) e em particular determinado o quantitativo de chuvas classificadas como evento Extremamente Chuvoso (EC), que será considerado neste estudo como um evento extremo de precipitação pluviométrica observado nas regiões em estudo.

**Figura 1** – Mapa com a localização dos municípios no estado do Ceará.



**Tabela 1** – Categorias de classificação das chuvas de pré-estação.

| P                         | Categoria (classificação) |
|---------------------------|---------------------------|
| $P < Q_{0,15}$            | Muito Seco (S)            |
| $Q_{0,15} < P < Q_{0,35}$ | Seco (S)                  |
| $Q_{0,35} < P < Q_{0,65}$ | Normal (N)                |
| $Q_{0,65} < P < Q_{0,85}$ | Chuvoso (C)               |
| $Q_{0,85} < P < Q_{0,95}$ | Muito Chuvoso (MC)        |
| $P > Q_{0,95}$            | Extremamente Chuvoso (EC) |

Após a obtenção da climatologia e a classificação climática baseadas nas informações obtidas no INMET, foram obtidas as informações sobre as chuvas observadas nas seis regiões estudo, nos meses de dezembro de 2024 e de janeiro de 2025, e em seguida os totais mensais foram classificados climatologicamente, segundo a metodologia empregada neste estudo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

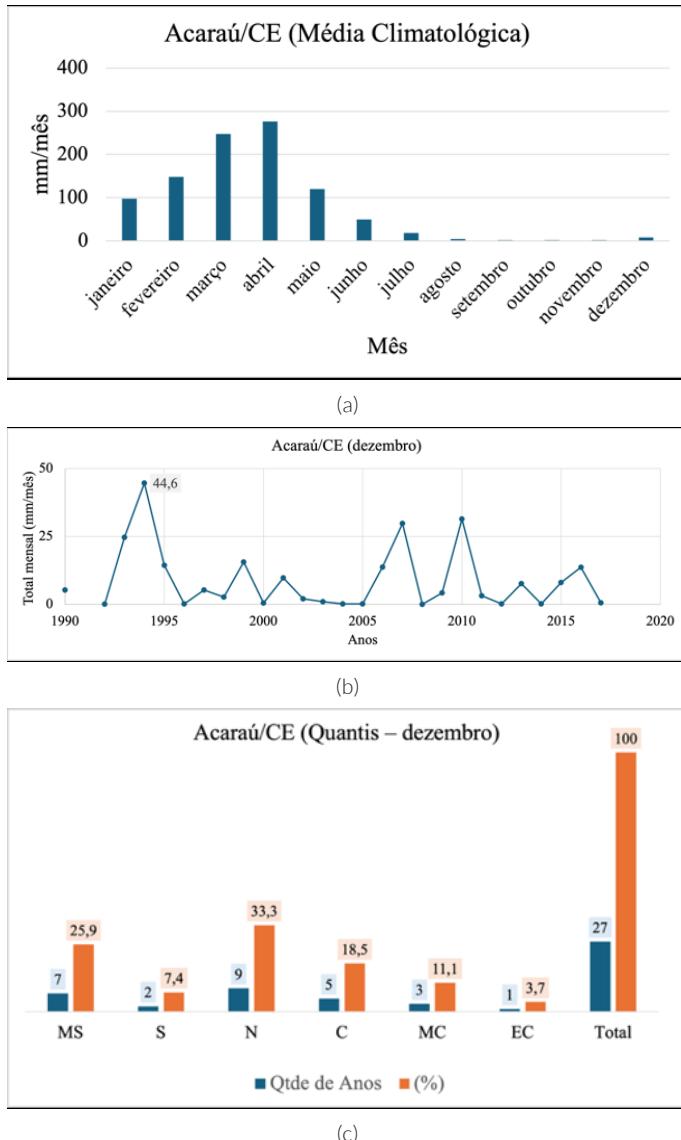
A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir dos dados climatológicos do INMET que foram usados para a obtenção da climatologia das chuvas observadas nos meses de dezembro e de janeiro. E, os resultados referentes a classificação climática dos meses de dezembro de 2024 e janeiro de 2025 a partir dos dados obtidos no portal de monitoramento da FUNCEME.

### **4.1 Climatologia para o mês de dezembro.**

As figuras a seguir mostram quadros compostos dos gráficos da climatologia das chuvas, da climatologia das chuvas observadas no mês de dezembro e a classificação dos eventos chuvosos para este período usando o método dos Quantis, descrito anteriormente. Assim, para o município de Acaraú/CE se observa os totais médios das chuvas de pré-estação em torno de 9,0 mm/mês, considerando-se a série de dados existentes de 1991 a 2017, com ocorrência de três anos considerados muitos chuvosos e com um evento classificado como extremamente chuvoso para esta região, no ano de 1994 com 44,6 mm/mês (Figura 2). Em adição, se observam sete eventos (25,9%) classificados como muito seco, eventos que também são considerados extremos para esta região.

A Figura 3 mostra a climatologia das chuvas observadas na região de Fortaleza/CE, obtida para o período de trinta anos (1994 a 2023). Os resultados mostram que as chuvas mensais médias neste período são em torno dos 40 mm/mês, com três anos que são classificados como muitos chuvosos (2007, 2010 e 2016) com chuvas de aproximadamente 75,0 mm/mês, e com um evento classificado como extremamente chuvoso observado no ano de 2018 (197,3 mm/mês).

**Figura 2** – Climatologia das chuvas em Acaraú/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).

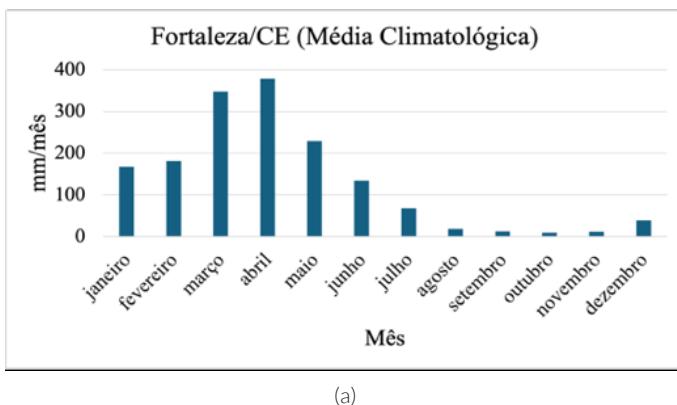


Em relação aos eventos extremos, classificados neste estudo como anos muitos secos, se observa que se encontram quatro eventos nos anos de 2000, 2002, 2006 e 2008, com chuvas observadas abaixo dos 8,0 mm/mês.

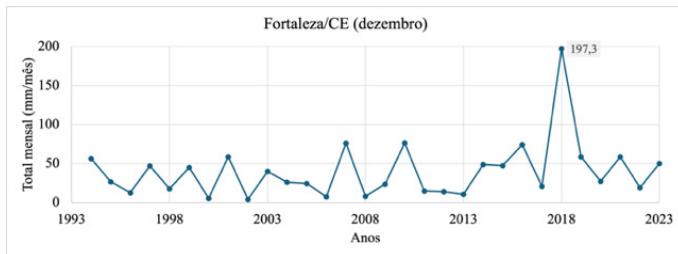
A classificação baseada no método dos Quantis para a região de Jaguaruana/CE indicou a predominância de ocorrência de anos classificados como normais (Figura 4). Foram classificados 10,7% dos anos como muito chuvosos e 3,6% como extremamente chuvosos, corresponde ao ano de 2010 (48,5 mm/mês).

Esses resultados destacam o predomínio de anos classificados como normais que apresentam chuvas médias em torno dos 10,0 mm/mês, com a ocorrência de um evento classificado como extremamente chuvoso e quatro eventos classificados como muitos secos nesta região, ocorridos nos anos de 1995, 1996, 1998 e 2004.

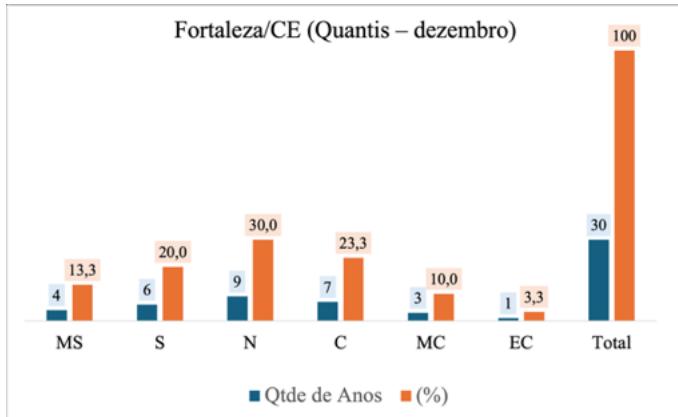
**Figura 3** – Climatologia das chuvas em Fortaleza/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).



(a)



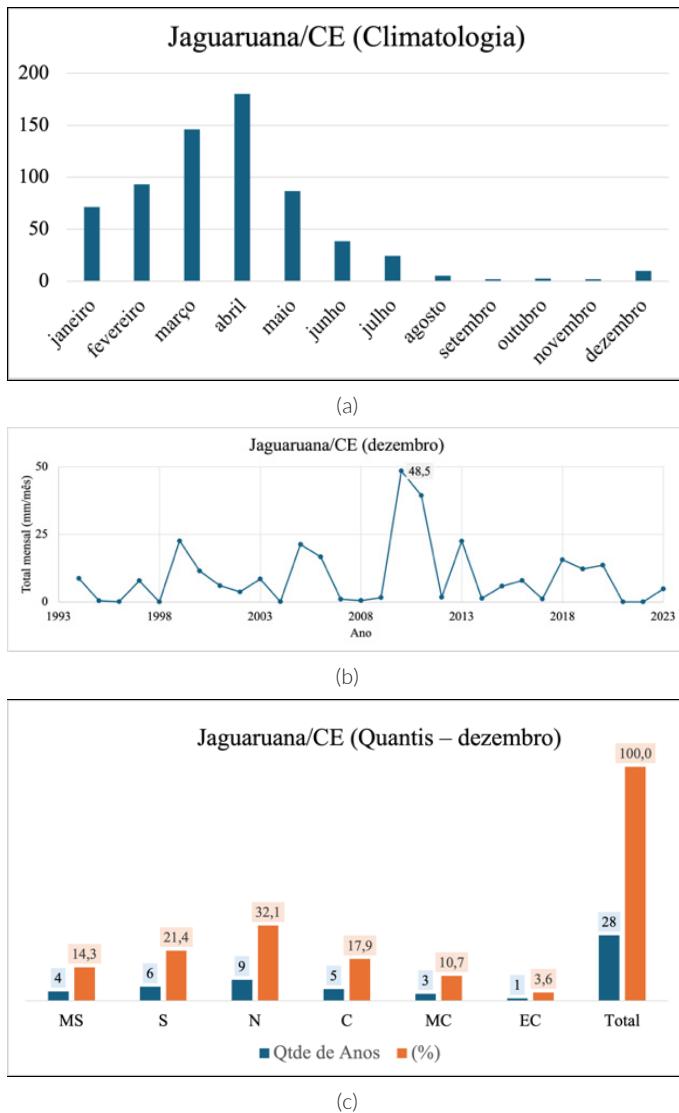
(b)



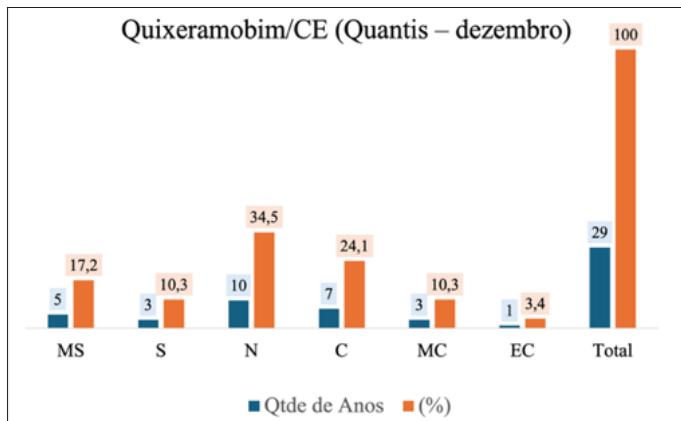
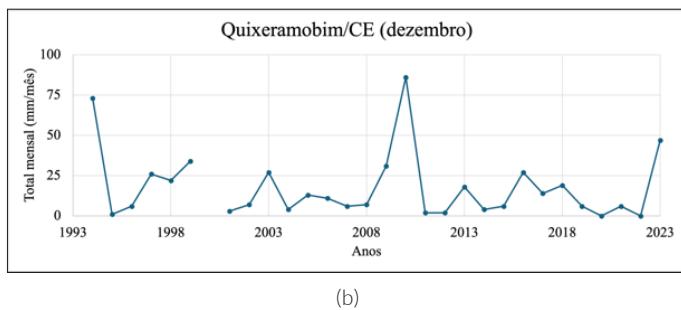
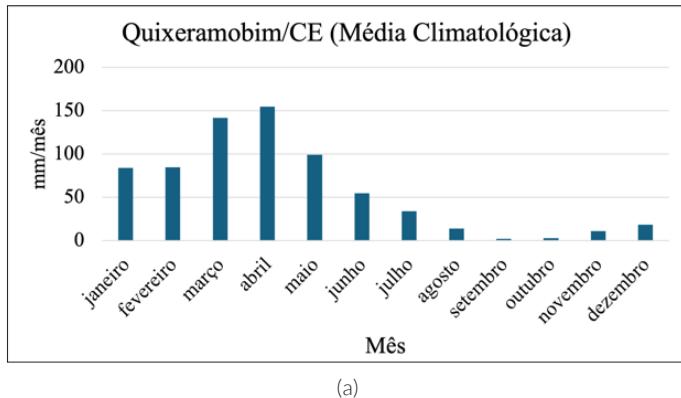
(c)

No município de Quixeramobim/CE se observa que as chuvas médias observadas no mês de dezembro são aproximadamente de 17,5 mm/mês, destacando-se o ano de 2010 que se observam chuvas médias de 86,0 mm/mês, evento classificado como extremamente chuvoso na região (Figura 5). Ainda se destaca nesta região a ocorrência de três eventos classificados como muito chuvoso, são estes os anos de 1994 (73,0 mm/mês), de 1999 (34,0 mm/mês) e de 2023 (47,0 mm/mês).

**Figura 4** – Climatologia das chuvas em Jaguaruana/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).



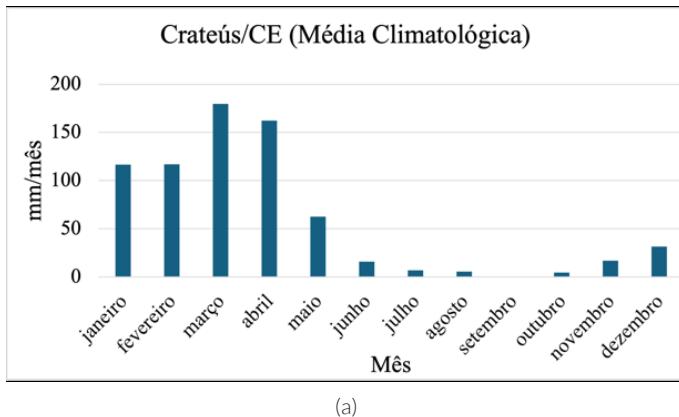
**Figura 5** – Climatologia das chuvas em Quixeramobim/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).

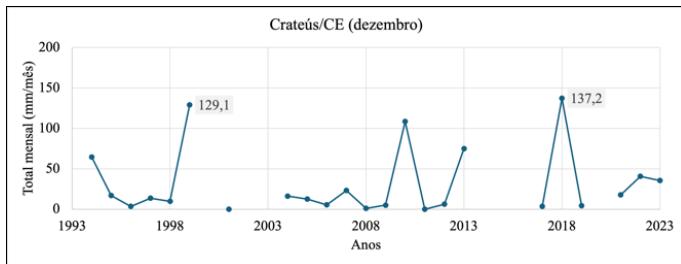


Em adição, menciona-se que durante o período de estudo, se encontram a ocorrência de cinco anos classificados como muito secos, correspondente a 17,2% dos dados observados, são estes os anos de 1995, de 2011 e 2012, de 2020 e de 2022. Nestes anos as chuvas médias registradas na região foram abaixo de 2,0 mm/mês.

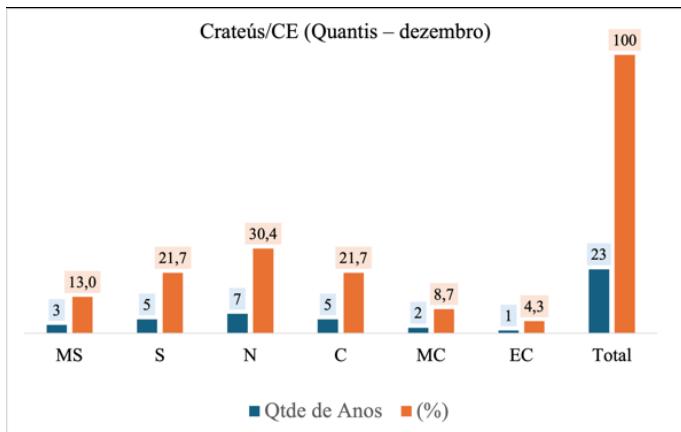
Na Figura 6 se observa que as chuvas médias no mês de dezembro em Crateús/CE apresentam alta variabilidade com maiores valores que são classificados como eventos muitos chuvosos nos anos de 1999 (129,10 mm/mês) e 2010 (108,6 mm/mês) e o ano de 2018 classificado como evento extremamente chuvoso (137,2 mm/mês).

**Figura 6** – Climatologia das chuvas em Crateús/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).





(b)

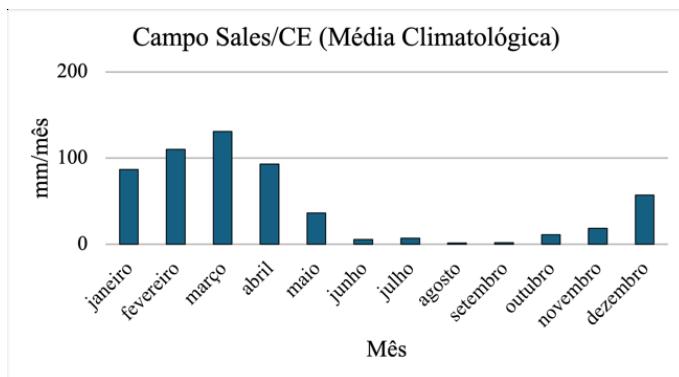


(c)

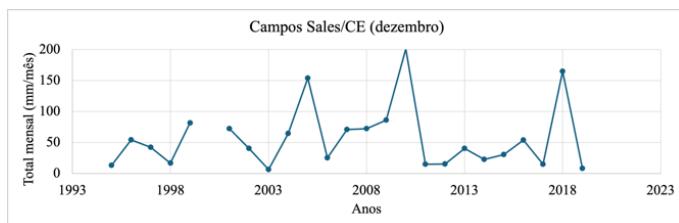
Menciona-se que mesmo com as falhas observadas na série temporal dos dados obtidos é possível observar que nesta região se tem a ocorrência de anos classificados como extremos, tanto extremamente chuvosos como muito secos, que apresentam chuvas médias observadas abaixo de 8,0 mm/mês.

Na região do Cariri do estado Ceará, em particular no município de Campos Sales/CE, se observa alta variabilidade das chuvas de pré-estação, com média climatológica para o mês de dezembro em torno de 57,1 mm/mês, destacando os anos de 2005 (153,9 mm/mês) e de 2018 (165,0 mm/mês) que são classificados como eventos muitos chuvosos e o ano de 2010 (201,2 mm/mês) classificado como ano extremamente chuvoso.

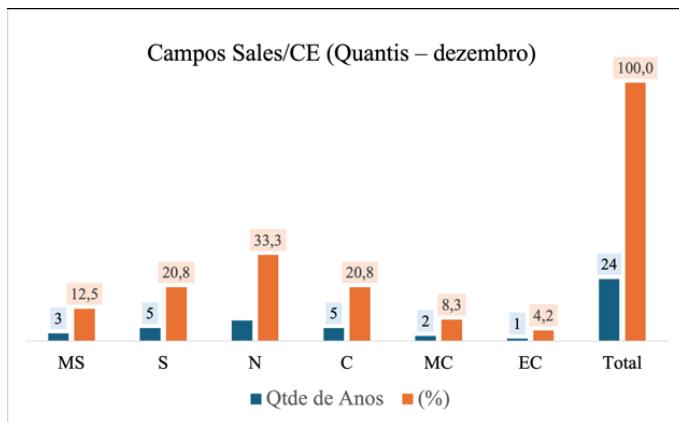
**Figura 7** – Climatologia das chuvas em Campos Sales/CE para o mês de dezembro (a e b) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (c).



(a)



(b)



(c)

## **4.2 Climatologia do mês de janeiro**

As figuras a seguir mostram os gráficos da climatologia das chuvas para o mês de janeiro e a classificação dos eventos climáticos usando o método dos Quantis para as regiões em estudo. Observa-se na estação de Acaraú/CE a média climatológica de 97,4 mm/mês, com destaque para os dois eventos classificados como extremamente chuvosos ocorridos no período em análise (2004 e 2011) que registraram o total das chuvas observadas de 457,4 e 315,4 mm/mês, respectivamente (Figura 8).

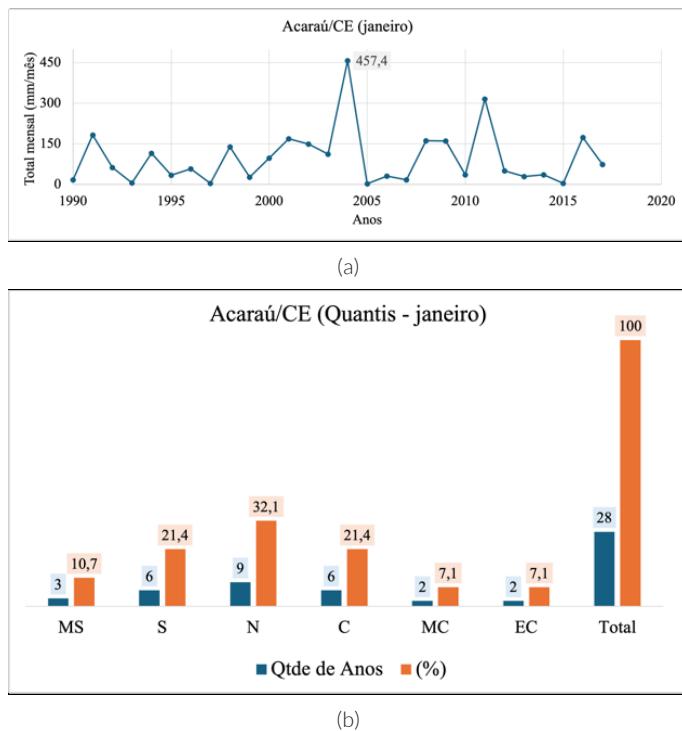
Em adição, mencionam que ocorreram nesta região três eventos classificados como muito secos (1997, 2005 e 2015) em que o total das chuvas registradas foram abaixo de 4,0 mm/mês.

Na estação meteorológica de Fortaleza/CE se observa total médio climatológico das chuvas observadas de aproximadamente 170,0 mm/mês, com dois eventos classificados como extremamente chuvosos nos anos de 2004 e de 2011, com registros de 447,2 e de 668,3 mm/mês (Figura 9). Nesta região também se destaca os totais mensais das chuvas observadas nos anos classificados como muitos chuvosos nos anos de 2002 (287,5 mm/mês), de 2008 (278,4 mm/mês) e de 2016 (309,7 mm/mês) e seis eventos classificados como chuvosos em que os totais variam entre 176,3 e 250,6 mm/mês. Estes quantitativos classificados como chuvosos, muito chuvosos e extremamente chuvosos, em geral, causam transtornos às comunidades em situação de vulnerabilidade socioeconômica desta região por conta de desastres naturais, conforme descrito em Silva e Oliveira (2024).

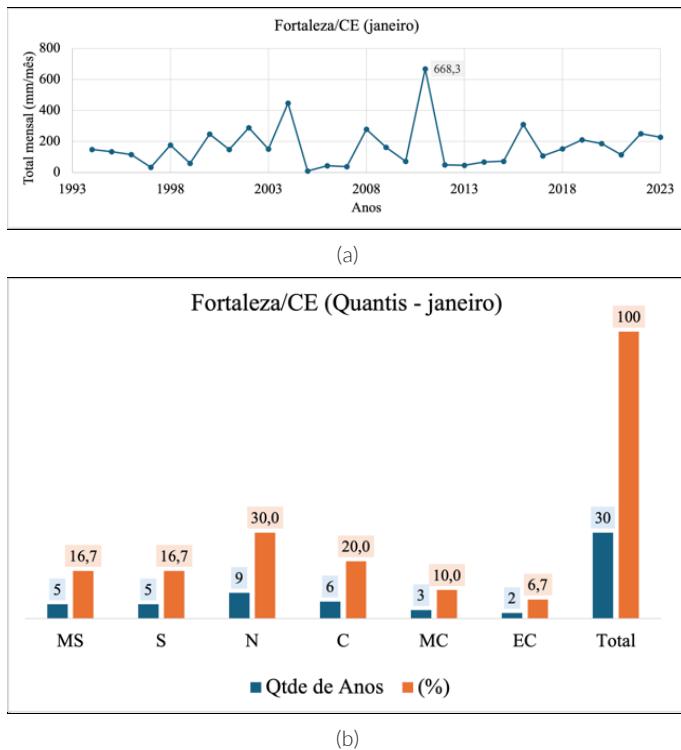
Para a região de Jaguaruana/CE se encontra média climatológica de 73,8 mm/mês para o mês de janeiro, com cinco eventos classificados como chuvosos que variam entre 67,0 e 147,6 mm/mês, três classificados como muito chuvosos (172,3 a 278,7 mm/mês) e um classificado como extremamente chuvoso no ano de

2004 que registrou 360,8 mm/mês. Considerando que o total climatológico médio anual das chuvas dessa região para o período em estudo é de 663,0 mm, menciona-se que os eventos que foram classificados como muito chuvosos alcançaram 42,8% do total das chuvas esperadas e o evento classificado como extremamente chuvoso alcançou 54,4% do total das chuvas esperadas para um ano.

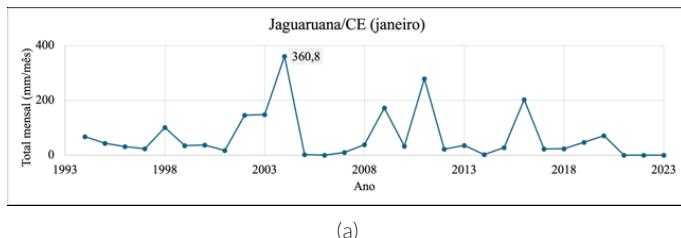
**Figura 8** – Climatologia das chuvas em Acaraú/CE para o mês de janeiro  
 (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).

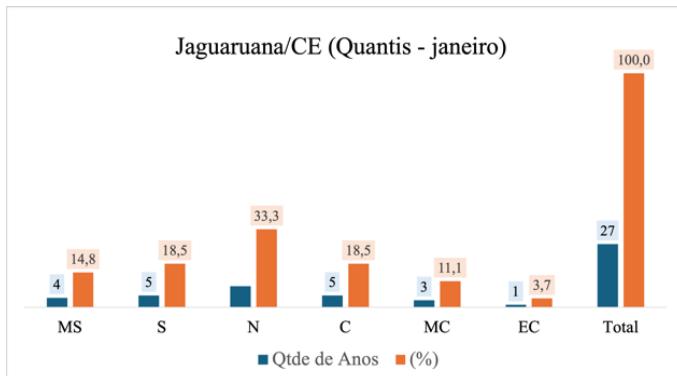


**Figura 9** – Climatologia das chuvas em Fortaleza/CE para o mês de janeiro (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).



**Figura 10** – Climatologia das chuvas em Jaguaruana/CE para o mês de janeiro (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).

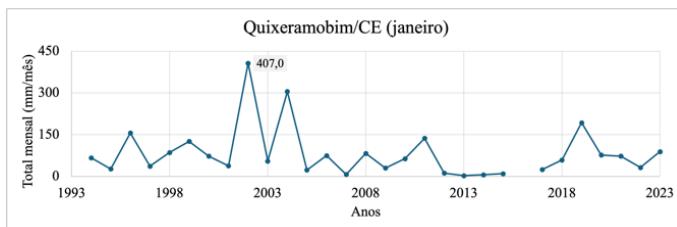




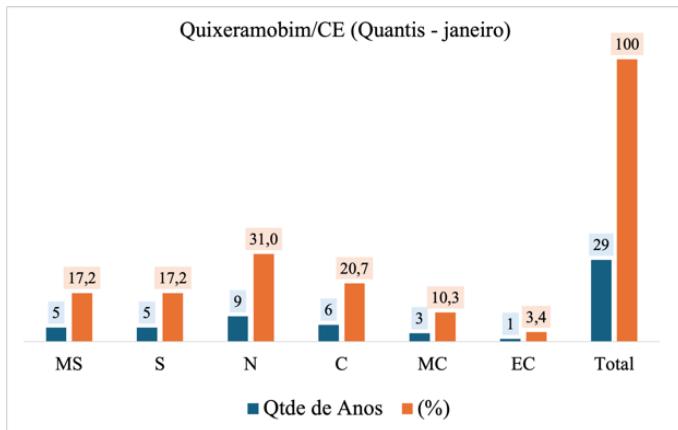
(b)

Na estação de Quixeramobim/CE se observa a média climatológica de aproximadamente 82,0 mm/mês, com seis eventos classificados como chuvosos, de 77 a 137 mm/mês e três como muitos chuvosos, variando de 156,0 a 305,0 mm/mês. Destaca-se o evento classificado como extremamente chuvoso registrado no ano de 2004 (407,0 mm/mês) que alcançou aproximadamente 58,2% da média climatológica anual (698,7 mm).

**Figura 11** – Climatologia das chuvas em Quixeramobim/CE para o mês de janeiro (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).



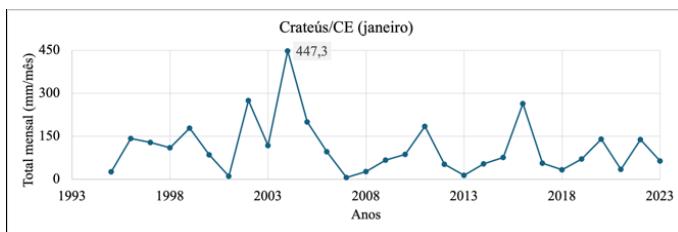
(a)



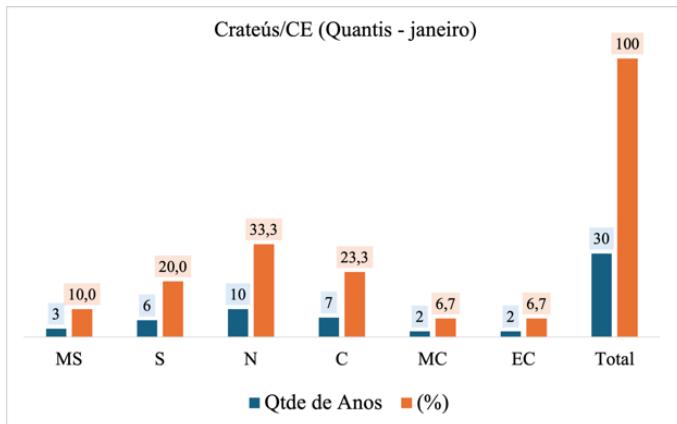
(b)

Os registros das chuvas observadas em Crateús/CE mostram média climatológica anual de 720,3 mm, com ocorrência de sete eventos classificados como chuvosos que registraram chuvas observadas entre 176,3 e 250,6 mm/mês, de dois eventos classificados como muito chuvosos que registraram chuvas entre 287,5 e 309,7 mm/mês, e um evento classificado como extremamente chuvoso no ano de 2004 (447,3 mm/mês), valor que representa aproximadamente 62,0 % do total médio anual das chuvas esperadas na região.

**Figura 12** – Climatologia das chuvas em Crateús/CE para o mês de janeiro (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).



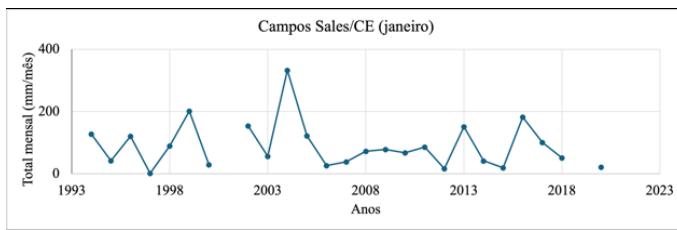
(a)



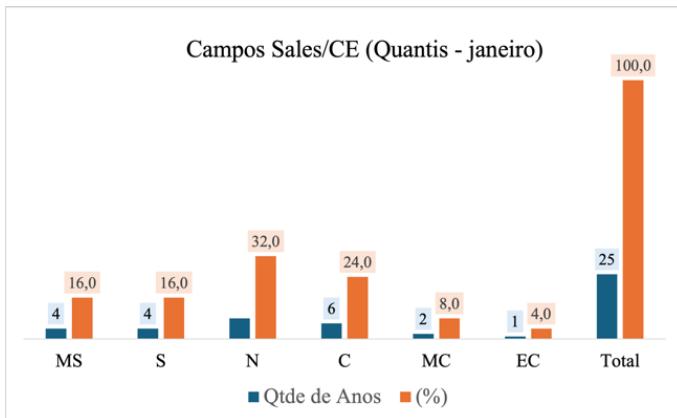
(b)

Em Campos Sales/CE na região do Cariri do estado Ceará se observa a média climatológica anual de aproximadamente 560,0 mm e seis eventos classificados como chuvosos (121,0 a 154,3 mm/mês), dois classificados como muitos chuvoso (163,6 a 201,8 mm/mês) e um evento extremamente chuvoso de 332,5 mm/mês correspondente a 59,3 % do total anual médio das chuvas observadas na região.

**Figura 13** – Climatologia das chuvas em Campos Sales/CE para o mês de janeiro (a) (Fonte: INMET) e classificação climática baseada no método dos Quantis (b).



(a)



(b)

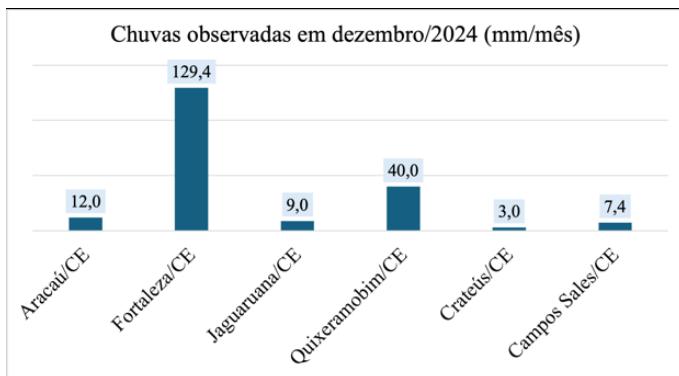
#### 4.3 Classificação Climática (dezembro/2024 e janeiro/2025)

Com a obtenção da classificação climatológica dos totais de chuvas observadas nos postos dos municípios em estudo e a partir das informações coletadas no banco de dados meteorológicos da FUNCEME foi possível classificar as chuvas observadas nos meses de dezembro/2024 e janeiro/2025 nestas áreas.

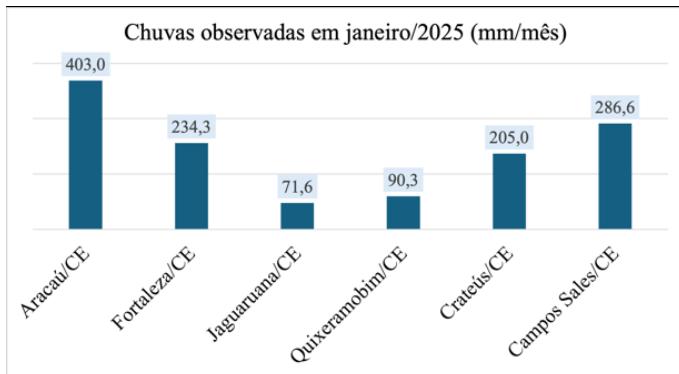
Assim, a Figura 14(a) mostra que as chuvas no mês de dezembro de 2024 variaram de 3,0 a 129,4 mm/mês, nos respectivos postos pluviométricos de Crateús/CE e de Fortaleza/CE. Segundo a classificação climática obtidas nas regiões em estudo o total de chuvas observadas no mês de dezembro nestas regiões podem ser classificados, respectivamente, como Muito Seco (MS) em Crateús/CE e Muito Chuoso (MC) para a região de Fortaleza/CE.

Dessa forma, o total de chuvas de 9,0 mm/mês observado em Jaguaruana/CE é classificado climatologicamente como Normal (N) para a região, o total de 12,0 mm/mês observados em Acaraú/CE é classificado como chuvoso (C), os 40 mm/mês em Quixeramobim/CE como MC e os 7,4 mm/mês é classificado como MS para a região de Campos Sales/CE.

**Figura 14** – Totais mensais das chuvas observadas (Fonte: FUNCEME).



(a)



(b)

Em relação aos totais pluviométricos observados no mês de janeiro/2025, se observa que variaram de 71,6 mm/mês em Jaguaruana/CE, classificado como chuvoso para a região, a 403,0 mm/mês em Acaraú/CE, classificado como Extremamente Chuvoso (EC).

Menciona-se que na região de Acaraú/CE os registros mostram que ao longo do período em estudo, se observa no mês de janeiro apenas dois eventos classificados como EC, em 2004

(457,4 mm/mês) e em 2011 (315,4 mm/mês), sendo janeiro/2025 o terceiro evento EC registrado (403,0 mm/mês).

Nas demais regiões em estudo se observa que em Fortaleza/CE choveu 234,3 mm/mês, classificado como chuvoso, em Quixeramobim/CE choveu 90,3 mm/mês que também é classificado como Chuvoso (C), em Crateús o total registrado foi de 205,0 mm/mês que é classificado como Chuvoso (C) e em Campos Sales/CE foram registrados 286,6 mm/mês, classificado como evento EC para esta região.

Na região de Campos Sales/CE os registros das chuvas observadas mostram que no período entre os anos de 1994 e 2020 ocorreu apenas um evento classificado como EC em 2004 (332,5 mm/mês), sendo o evento de 2025 (286,6 mm/mês) o segundo evento classificado como EC ocorrido nesta região.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as análises da climatologia dos totais médios mensais das chuvas observadas em regiões cearenses mostram características semelhantes, com os maiores totais médios mensais concentrados no primeiro semestre do ano, denominado de período chuvoso, e um período com ocorrência de menos chuva no segundo semestre, denominado como período seco destas regiões. Resultados de corroboram com outros estudos encontrados na literatura científica.

Em relação a climatologia das chuvas na pré-estação chuvosa dessas regiões, ou seja, o total médio das chuvas observadas nos meses de dezembro e de janeiro, conclui-se que se observam os maiores valores dos totais das chuvas do mês de dezembro (57,1 e 39,1 mm/mês) nas regiões do Cariri Cearense (Campo Sales/CE) e do Litoral (Fortaleza/CE), seguidos pelos valores registrados no Sertão de Crateús (31,7 mm/mês), valores médios que são

classificados como Normais Climatológicos para as respectivas regiões. Nas demais regiões que representam o Sertão Central e o Litoral Norte, se encontram valores médios considerados normais climatológicos que varia de 8,0 a 18,1 mm/mês.

Em relação aos totais climatológico das chuvas observadas no mês de janeiro e que são classificados como médias ou normais climatológicos, conclui-se que nas seis regiões em estudo estes valores variam de 71,3 a 167,2 mm/mês. Assim, conclui-se que as chuvas esperadas neste mês, denominadas de chuvas de pré-estação, são importantes para a agricultura e pecuária desta região, principalmente para as comunidades da agricultura familiar nas regiões classificadas como semiárida no Estado do Ceará.

Com a classificação climática obtidas para os meses de dezembro e janeiro nas regiões em estudo foi possível concluir, segundo os critérios definido como metodologia deste estudo, que foram observados eventos classificados como extremos, secos e chuvosos, como é o caso do mês dezembro/2024 em Crateús/CE e em Campos Sales/CE, e os eventos Extremamente Chuvosos do mês de janeiro/2025 em Acaraú/CE e em Campos Sales/CE.

Por fim, conclui-se que a aplicação deste método possibilita o conhecimento da variabilidade climática da pré-estação chuvosa em cada região de interesse, que por sua vez pode auxiliar no planejamento de ações de mitigação e de convivência com os efeitos dos períodos classificados extremos (muito seco e extremamente chuvoso) ou classificados como secos, chuvosos e muitos chuvosos, que também estão associados ao aumento da ocorrência de desastres naturais nestas regiões.

## REFERÊNCIAS

Brito, J.I.B.; Nobre, C.A. A Precipitação da Pré-Estação e a Previsibilidade da Estação Chuosa do Norte do Nordeste. **Climanálise**, Vol. 6, INIQ 6, p.39-54. 1991.

GOUVEA, R.L., CAMPOS, C.C., MENEZES, J.T., MOREIRA, G.F. (2021). Análise de Frequência de Precipitação e Caracterização de Anos Secos e Chuvosos para a Bacia do Rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, 22. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55276>.

LUNA, V.F., DUARTE, C.C., SILVA, J.M.O., SANCHES, F.O., NÓBREGA, R.S. (2024). Eventos extremos diários de precipitação em cidade do Semiárido Cearense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.35(20), p.607-629. <https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.18731>.

MONTEIRO, J.B., ZANELLA, M.E., PINHEIRO, D.R.C. A Contribuição da Técnica dos Quantis na Identificação de Extremos de Chuva e de uma Metodologia para Detectar Situações de Desastre Natural no Semiárido Cearense. (2022). **Revista Geografias**, 17(2), 1-16. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2021.36790>.

Muniz, F.G.L.; Caracristi, I. Análise da variação da temperatura e umidade no período de pré-estação chuvosa na cidade de Sobral/CE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, e214101724780, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v1017.24780>.

Ramos, M.F.; Monteiro, C.B.; Espindola, G.M.; Silva, C.E; Bezerra, A.A. Método dos Quantis para Caracterização da Precipitação Anual da Cidade de Teresina/PI. XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. Outubro/2020 – Porto Alegre/RS.

SANTOS, D.D. e GALVANI, E. Proposta para Determinação de Eventos Extremos de Chuva no Litoral Norte Paulista. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15, vol. 25, p. 702-718. 2019.

SANTOS, S.A.F., COSTA, A.R.C., BERTOLINO, A.V.F.A. (2023). Caracterização do Regime de Precipitação de São Pedro da Serra (RJ) Usando Técnica de Quantis. **Revista Contemporânea**, 3(10), 16647-16662. <https://doi.org/10.56083/RCV3N10-005>.

SENA, J.P.O.; MORAES NETO, J.M.; LUCENA, D.B. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do Cariri e suas consequências na agropecuária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.25, n. 15, p. 278 - 293, 2019.

SILVA, M.C., MEDEIROS, R.M., HOLANDA, R.M., FRANÇA, M.V. (2023). Análise Térmica Utilizando-se da Técnica dos Quantis Aplicada aos Municípios da Zona da Mata Setentrional Pernambucana. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, 21(10), 17432-17454. <https://doi.org/10.55905/oelv21n10-157>.

SILVA, E.M., OLIVEIRA, G.F. (2024). A Climate Education Experience in the Community of Morro Santa Terezinha in the City of Fortaleza in the State of Ceará (Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 17(4), 3084-3094. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.4.p3084-3094>.

SOARES, F.R.; RICHELLE, K.P.; BRITO, J.I.B. Uso da Técnica dos Quantis para Monitoramento do Clima do Estado do Sergipe. Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 02 a 05 de julho de 2007. Aracaju/SE.

XAVIER, T.M.B.S. & SILVA, J.F. & REBELLO, E.R.G. **A Técnica dos Quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras.** Thesaurus Editora de Brasília Ltda. Brasília, 2002, 141 p.

# **VARIABILIDADE DAS CHUVAS E A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA FAMILIAR NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ NO ESTADO DO CEARÁ – BRASIL**

*Roberto José Almeida de Pontes*

*Zilma Nunes de Melo*

*Emerson Mariano da Silva*

## **1 INTRODUÇÃO**

A produção agrícola é a grande fonte econômica nas regiões do Nordeste brasileiro e, em especial, nas regiões do estado do Ceará, destacando-se a cultura do arroz, feijão, milho e mandioca, pelo grande impacto econômico, a questão precisa ser analisada e qualificada, visto que para que a produção ocorra de fato, há uma grande dependência dos recursos hídricos da região.

Assim, nos períodos de estiagem, denominados de períodos secos, ou simplesmente de seca, fica mais evidente que a agricultura é uma atividade amplamente dependente de fatores climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade, além de fatores sociais, econômicos e políticos dessas regiões.

A ocorrência de períodos de estiagem tem causado risco à sobrevivência da população, ao ecossistema e a vida humana nessas regiões, carecendo de iniciativas emergenciais e permanente que visem mitigar seus efeitos. Dessa forma, para compreensão e reflexão do problema dos impactos decorrentes de estiagem, é importante conhecer a dinâmica e as características prejudiciais

às atividades agrícola, enquanto, fonte de renda e sustento dos agricultores.

Neste contexto, este estudo discute a relação entre a produtividade agrícola de culturas de subsistência e a variabilidade climática, em particular nos períodos classificados como secos em uma região de clima subúmido, assim, considera a realidade da agricultura familiar nos municípios de Baturité, Pacoti e Mulungu, na região do Maciço de Baturité no Estado do Ceará.

A investigação se concentra em quatro culturas agrícolas principais (milho, mandioca, feijão e arroz) que são de grande importância alimentar e representam os desafios enfrentados pela produção da agricultura familiar dessas regiões.

## **2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E GEOMORFOLÓGICAS DO MACIÇO DE BATURITÉ**

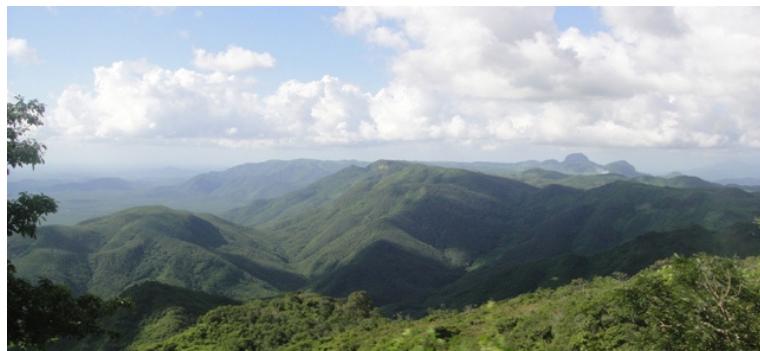
A Serra de Baturité é formada por rochas do Complexo Nordestino, no Pré-Cambriano Inferior e Médio, na Faixa de Dobramento Jaguariabana (IBAMA, 2002) e está inserida no Domínio dos Escudos e Maciços Antigos, como rochas datadas do Pré-Cambriano. Suas características geomorfológicas estão subordinadas às influências litológicas e estruturais pretéritas, aos mecanismos de flutuações climáticas cenozoicas e aos processos morfodinâmicos atuais (Souza, 1992).

A paisagem desta região modelou-se principalmente no Quaternário, período caracterizado pela acentuada instabilidade climática, de notórias oscilações climáticas (Figura 1).

O município de Baturité é o mais antigo da região do Maciço que leva o seu nome, situado a uma altitude de 171,2 metros acima do nível do mar, distante 79 km da capital cearense, localizado a  $4^{\circ}19'43''$  de latitude (S) e  $38^{\circ}53'05''$  de longitude (W), configura-se no contexto do clima Tropical Subúmido,

com características de floresta tropical úmida importante para os ecossistemas as diferenças climáticas se conformam pela má distribuição; irregularidades das precipitações; e regime pluviométrico baixo.

**Figura 1** – Caracterização geomorfológica do Maciço de Baturité no Ceará.



No município de Pacoti encontra-se o clima classificado como tropical quente úmido e tropical quente úmido, possui uma vegetação de características de Caatinga Arbustiva Densa, Floresta subcaducifólia tropical pluvial e floresta subperenifólia tropical pluvio-nebulosa. Localizado no maciço cristalino de Baturité, apresenta um relevo bastante complexo com vertentes dissecadas, colinas convexas intercaladas por planícies alveolares e cristas estruturais, devidos aos aspectos geomorfológicos, devidos aos fatores estruturais e climáticos.

O município de Mulungu que apresenta clima tropical subquente úmido com uma vegetação caracterizada por floresta sub-caducifólia tropical pluvial e floresta sub-perenifólia tropical pluvio-nebulosa. Esta região foi emancipada do município de Baturité em 1890, está situada a uma altitude média de 790 metros acima do nível do mar, distante 85 km da capital cearense,

localizado a 4°18'20" de latitude (s) e 38°59'47" de longitude (w), tendo seus limites ao norte com Guaramiranga e Caridade; ao sul com Aratuba e Capistrano; à leste com Capistrano e Baturité; e à oeste com Caridade, Canindé e Aratuba.

### **3 IMPACTOS DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA AGRICULTURA FAMILIAR DA REGIÃO**

Dado a importância das culturas para sobrevivência dos brasileiros, a investigação traz ao leitor a dinâmica climatológica de cada cultura na agricultura relacionados no meio rural. As plantações são totalmente dependentes das variações climáticas, a quantidade de chuvas e temperaturas, esses fatores intervêm diretamente nas colheitas e produção das lavouras.

A cultura do milho sofre influências da radiação solar, da precipitação e da temperatura do ar. Fatores esses que atuam com eficiência nas atividades fisiológicas intervindo espontaneamente na produção dos grãos. O cultivo do milho apresenta taxa fotossintética elevada ( $80 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), contrapondo com elevados rendimentos ao aumento da intensidade luminosa. A maior impressionabilidade à variação de luz ocorre no início da fase reprodutiva (primeiros 15 dias após o apendoamento). A aplicação efetiva de luz pelo milho depende muito da estrutura da planta e da distribuição espacial das folhas. Um abaixamento de 30 a 40% da intensidade luminosa ocasiona atraso no amadurecimento dos grãos, em culturas tardias, desprovidas de luz.

Na região Nordeste do Brasil a temperatura do ar e do solo representa um fator limitante a produtividade desta cultura, durante o período de germinação as temperaturas ideais do solo para a cultura de milho é entre 25 e 30 °C, sendo que temperaturas do solo inferiores a 10 °C ou superiores a 40 °C ocasionam prejuízo sensível à germinação.

Por pretextos basicamente econômicas, o milho tem sido plantado sobretudo no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo mínimo de 350 a 500 mm/ano de chuvas para garantir produção satisfatória sem necessidade de irrigação. Em clima quente e seco a cultura do milho excede um consumo 3,0 mm/dia de água, na estação que vai da iniciação floral à maturação poderá atingir o consumo de 5,0 a 7,0 mm/dia. As maiores produtividades têm ocorrido associadas a consumos de água entre 500 e 800 mm/ano.

A satisfatória disponibilidade de água permite que plantas fique exuberantes vivam em solos muito pobres, por meio de um eficiente mecanismo de ciclagem, pode conceber um fator limitante ao desenvolvimento desta cultura.

“A cultura do milho, componente importante de economia no clima sub-úmido brasileiro sofre instabilidade de cultivo, causada principalmente pelo condicionante climático e hídrico. Mesmo estando inserido neste cenário adverso, esta cultura dispersa por todo sub-úmido brasileiro dada a sua importância cultural, econômica e social, sendo explorada em diferentes condições ambientais e nas mais variadas sistemas de cultivo, indo daquele tradicional, caracterizado pela agricultura de subsistência, até os mais modernos, que procuram explorar ao máximo a potencialidade...” (Veiga et al., 2015).

“A cultura da mandioca, também conhecida nas regiões em estudo como Aipim ou Macaxeira, que é nativa de região tropical, encontra condições favoráveis para o seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais, suporta altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de 2.300 metros, admitindo-se que as regiões baixas ou com altitude de até 600 a 800 metros são as mais favoráveis...” (Veiga et al., 2015).

A faixa adequada do total das chuvas para a produção desta cultura é entre 1.000 e 1.500 mm/ano, bem distribuídos ao longo da estação chuvosa. Porém, se encontra satisfatória produção em regiões que registram entre 500 e 700 mm de chuvas por ano, nessas condições é importante adequar a época de plantio para que não ocorra deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo, para não prejudica a produção.

O período de luz ideal para a mandioca está em torno de 12 horas/dia. Dias com períodos de luz mais longos favorecem o crescimento da parte aérea das plantas e reduzem o desenvolvimento das raízes tuberosas, enquanto os períodos diários de luz mais curtos promovem o crescimento das raízes tuberosas e reduzem o desenvolvimento dos ramos.

Neste contexto, é importante registrar que a chuva, a temperatura do ar e a radiação atmosférica, são os fatores climáticos que mais afetam a produção desta cultura.

“A mandioca é uma planta heliófila, perene, arbustiva, pertencente à família das euforbiáceas. É bem tolerante à estiagem e possui adaptação às mais variadas condições de clima e solo. Como o principal produto da mandioca são as raízes, ela necessita de solos profundos e friáveis, sendo ideais os solos arenosos ou de textura média, por possibilitarem um fácil crescimento das raízes, pela boa drenagem e pela facilidade de colheita...” (Fukuda, 2008).

A cultura do feijão também apresenta dependência a estas condições atmosféricas e climáticas (temperatura do ar, radiação solar e distribuição das chuvas). A temperatura do ar variando em torno de 29 °C durante o dia e 21 °C a noite permite o devido incremento na produção desta cultura, temperaturas elevadas interferem na produção sobretudo se houver longos períodos de estiagem.

As fases de reprodução e maturação desta cultura se beneficiam com a incidência de radiação solar. Na ausência de luz solar o auto sombreamento irá impedir a penetração da radiação solar nas folhas inferiores da planta impactando no número de vagens e grão.

“O feijão é um dos alimentos essenciais para a alimentação dos brasileiros, sua produção é realizada por pequenos e médios proprietários. O clima desempenha uma importante função para a produção, devido ao fato que o feijoeiro é sensível ao estresse hídrico, sendo então fundamental que durante seu cultivo os fatores climáticos propiciem condições adequada para a produção do feijão...” (Pereira, et al., 2001).

O cultivo do arroz tem suas condições ideais em temperatura do ar em torno de 32 °C, em solo permanentemente saturado de umidade. O aumento de temperatura nos períodos de emborragamento e floração podem causar sérios prejuízos às plantas, enfraquecendo-as ao ataque de doenças. Nesse caso também a fecundação poderá ser afetada.

“A temperatura do ar é um dos elementos climáticos mais importante para o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura do arroz, devido a sua grande influência fisiológica na planta. Cada espécie possui um espectro de temperatura limitante e ótima, não somente para o percentual final de germinação como também para a velocidade de germinação em que esta irá ocorrer...” (Socolowski e Takaki, 2004).

A luminosidade influencia o ciclo vegetativo da planta. Assim, se os estágios iniciais de crescimento, da sementeira à floração, são desenvolvidos com bastante luminosidade, ou seja, sob dias

mais longos, haverá naturalmente uma extensão do ciclo vegetativo da planta.

Os ventos fortes e granizos também prejudicam o crescimento desta cultura, principalmente na fase de granação ou maturação, pois provocam a estratificação das plantas, ou a degrana dos cachos, com consideráveis perdas para as colheitas.

Diante do exposto é possível observar que a variabilidade climática da região em estudo constitui característica importante no desenvolvimento destas culturas que são a base da agricultura familiar, segundo Diniz et al., 2018. Esta região é caracterizada pelo clima subúmido, com baixo índice pluviométrico anual e baixa umidade do solo rachado, e que tem a maior produção agrícola durante o período da estação chuvosa, diminuindo no período seco que é o segundo semestre do ano (Wilhilte et al., 2005).

O período de estiagem representa a redução da produção agrícola da região e o imediato acréscimo nos preços dos alimentos básicos, bem como a redução no nível de renda e ocupação rural nestas regiões.

Buainain (2011) e Peixoto (2012), concordam que o setor agropecuário atual ainda é a base para quem vive no meio rural e a principal atividade de caráter econômico dos pequenos municípios da região. Mencionam que esta atividade é uma prática econômica que consiste no uso dos solos para cultivo de vegetais e grãos que garantem a subsistência alimentar e econômica das famílias da região.

#### **4 ADAPTAÇÃO E CONVIVÊNCIA COM OS PERÍODOS DE ESTIAGEM (SECAS)**

Segundo Malvezzi (2007) a convivência com a estiagem passa pela produção e estocagem dos bens em tempos chuvosos para se viver adequadamente em tempos sem chuva. Assim, a ideia

de convivência pressupõe cultivos e criação de espécies animais nativos e/ou adaptados ao ambiente e práticas agrícolas seguras e sustentáveis.

Além da questão hídrica, uma das abordagens metodológicas para enfrentar a convivência com os períodos de seca indica a assistência técnica baseada na concepção de agroecológica (Galindo, 2008) que considera e valorize o saber tradicional das famílias agricultoras.

Segundo Duque (2008) a década de 1990 representou o surgimento de um movimento diferenciado em defesa da ideia de que é possível os pequenos produtores viverem e produzirem com dignidade. Para Nascimento (2008) a noção de convivência com a estiagem não representa apenas uma resposta de ausência pluviométrica e sim incorporar atitudes e técnicas de saber fazer chefiadas por governos, organizações e atores locais que refletem contextos socioespaciais específicos e interesses em disputa em torno da questão do desenvolvimento econômico.

Carvalho (2010) relata que a convivência representa uma nova lógica de pensar, agir e conduzir os debates acerca de um modelo de desenvolvimento apropriado para o Maciço de Baturité, pressupondo novas formas de aprender e lidar com o ambiente. Malvezzi (2010) que a materialização da convivência representa o aprendizado sobre a sabedoria popular e o resgate de tecnologias que já haviam sido desenvolvidas. Silva (2012) que essas práticas se fundamentam no compromisso com as necessidades, potencialidades e interesses das populações locais, em especial dos agricultores familiares.

Ressalta-se que estes autores concordam que essas ações são baseadas na conservação, no uso sustentável e na recomposição ambiental dos recursos naturais da região, assim como na quebra do monopólio do acesso à terra e à água, e acreditam que esses

elementos juntos promovam o desenvolvimento humano a partir de um novo paradigma de manejo das culturas de subsistência.

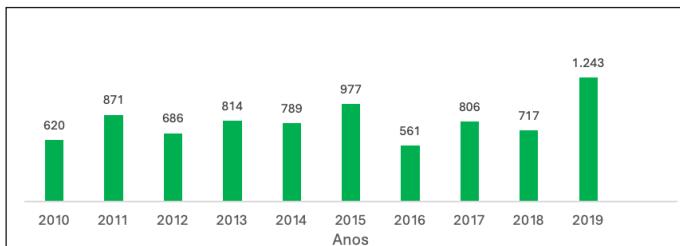
A este uso diversificado do ambiente mencionado por estes autores pode associar-se ao termo “resiliência socioecológica” que representa a capacidade coletiva local de responder à variabilidade climática apoiada na diversidade cultural, em sistemas tradicionais de tomadas de decisões e redes sociais (Altieri, 2013).

## **5 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO**

As variáveis analisadas neste estudo são divididas em duas categorias, as agrícolas (área plantada e a área colhida) e climática através da classificação das chuvas ao longo dos meses de incremento das lavouras. A falta de água nas fases de formação, reprodução e enchimento dos grãos é reconhecida como causa determinante na produtividade. A distribuição temporal das chuvas pode comprometer a produção, sobretudo na fase do enchimento dos grãos.

Os registros meteorológicos no período de 2010 a 2019 mostram que as chuvas na região do Maciço de Baturité são irregulares e estão, em geral, abaixo da média climatológica que é em torno de 1.100 mm/ano (Figura 2). Assim, neste caso se observa além do comprometimento do armazenamento de água nos corpos hídricos, que pode trazer problemas para o abastecimento e consumo humano, impactos negativos na produção agrícola e, consequentemente, prejuízos econômico e social, sobretudo no meio rural.

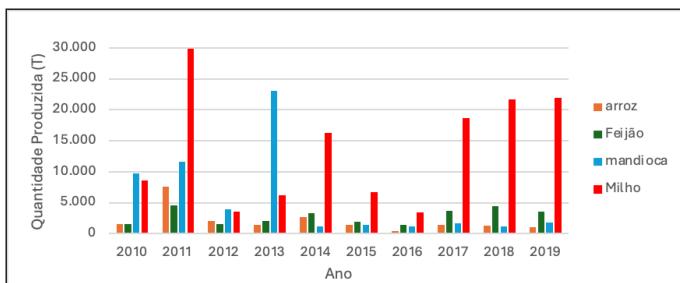
**Figura 2** – Chuvas médias (mm/ano) registradas na região do Maciço de Baturité.



**Fonte:** FUNCEME (2025).

Neste período, em particular nos anos que as chuvas se aproximaram da média histórica, observa-se um aumento expressivo na produção do milho na região do município de Baturité. As outras culturas (mandioca, arroz e feijão) apresentam pequena produção nesta região em relação a produção de milho, destacando a produção de mandioca em 2013, que devido a alguma variável de mercado obteve maior produção neste período específico (Figura 3).

**Figura 3** – Variação da produção agrícola (2010 e 2019) em Baturité.



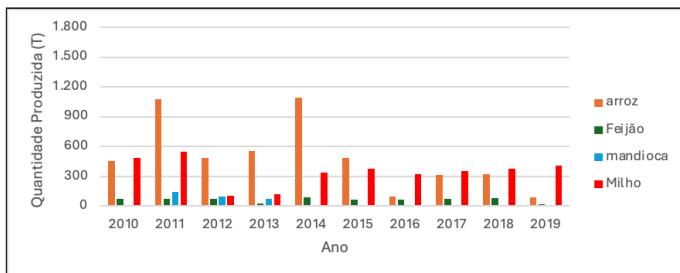
**Fonte:** IBGE - Produção Agrícola Municipal (2010 – 2019).

Menciona-se que, conforme mencionado anteriormente, a maior produtividade do milho esta associada ao registro de chuva entre 500 e 800 mm, considerando todo o ciclo da cultura. Assim,

este resultado deve estar associado ao período chuvoso da região que se concentra no primeiro semestre do ano.

Os resultados apresentados na Figura 4 indicam que, com a variabilidade das chuvas observadas no período em estudo, se tem a maior produção da cultura do arroz no município de Pacoti. Em contrapartida a cultura da mandioca apresenta baixa produção neste período. Acredita-se que estes resultados se deve a localização da geográfica desta região, que se encontra próxima ao topo da serra, registrando temperatura do ar mais baixas que as registradas na região de Baturité, e que esta protegida do vento por se encontrar a sotavento desta região.

**Figura 4** – Variação da produção agrícola (2010 e 2019) em Pacoti.



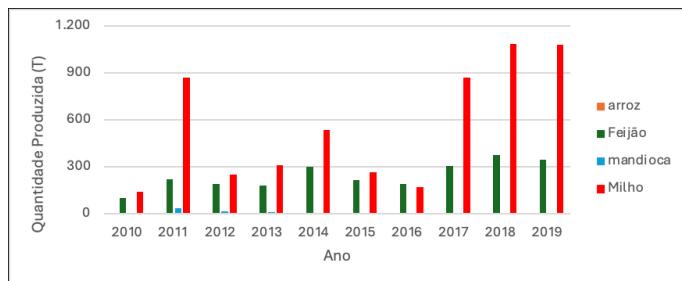
**Fonte:** IBGE - Produção Agrícola Municipal (2010 – 2019).

A Figura 5 mostra a produtividade das culturas agrícolas em estudo para a região do município de Mulungu, localizado a barlavento da serra de Baturité. Nesta região se observa a predominância das áreas de plantio e maior colheita da cultura do milho, sendo a cultura do feijão a segunda de maior importância para a agricultura familiar da região, conforme mostrado na Tabela 1.

Os resultados encontrados para esta região concordam com as características climáticas descritas para o desenvolvimento desta cultura, na medida que a região é classificada como subúmida com um período seco e registro de temperatura amena, e

como se encontra a barlavento apresenta maior evaporação em relação as outras regiões em estudo.

**Figura 5** – Variação da produção agrícola (2010 e 2019) em Mulungu.



**Fonte:** IBGE - Produção Agrícola Municipal (2010 – 2019).

**Tabela 1** – Área plantada e área colhida (hectares) Mulungu (2010 – 2019).

| Plantada |  | 2010 | 2011 | 2012  | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------|--|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Arroz    |  | 0    | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Feijão   |  | 700  | 998  | 1.110 | 786  | 927  | 930  | 920  | 880  | 900  | 900  |
| Mandioca |  | 3    | 3    | 3     | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Milho    |  | 595  | 893  | 810   | 670  | 895  | 910  | 920  | 950  | 943  | 970  |

| Colhida  | Arroz | 0   | 0   | 0     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
|----------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Feijão   |       | 700 | 998 | 1.110 | 786 | 927 | 930 | 920 | 880 | 900 | 900 |
| Mandioca |       | 3   | 3   | 3     | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| Milho    |       | 595 | 893 | 810   | 670 | 895 | 910 | 920 | 950 | 943 | 970 |

**Fonte:** IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2010/2019

É importante mencionar que a região em estudo representa uma “ilha úmida” no meio do semiárido brasileiro e que a umidade esta associada a quadra chuvosa desta região, concentrada no primeiro semestre do ano. Nesta região também se observa a influência dos ventos Alísios que são mais fortes no segundo semestre do ano e, consequentemente, aumentam a evaporação do solo e dos corpos hídricos da região.

Neste contexto, se observa condições climáticas que favorecem a produção de culturas específicas nas diferentes regiões do Maciço, como é o caso do milho nas regiões a barlavento (Baturité e Mulungu) e do arroz na região a sotavento da serra (Pacoti), concordando-se com os resultados de estudos publicados na literatura (Bergmaschi *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2013; Araújo *et al.*, 2013).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura familiar é praticada com dificuldades devido a variabilidade climática observada na região em estudo, que trazem implicações a vida e ao bem-estar da população residente nas zonas rurais destas regiões localizadas no Maciço de Baturité.

Neste contexto, ressalta-se que dada a vulnerabilidade a variabilidade e as mudanças climáticas cujos efeitos começam a serem sentidos na região, principalmente com o aumento da frequência de eventos extremos de chuva e de períodos secos, além da falta de incentivos fiscais e técnicos por parte do poder público, a agricultura familiar dos municípios em estudo, em geral, torna-se atividade econômica secundária.

Assim, este estudo mostra que nas regiões estudo apenas duas (milho e feijão) das quatro culturas de subsistências mais comuns na agricultura familiar das regiões cearenses são cultivadas na região do Maciço de Baturité. Estes resultados também evidenciam a necessidade de importação de arroz e derivados de mandioca para suprir as necessidades das famílias que vivem nestas regiões, pois essas culturas não se adaptam a variabilidade climática observada na região.

Em adição, é possível concluir que os efeitos da variabilidade climática observada na região, em particular os períodos secos ou de chuvas abaixo da média climatológica, promovem sensíveis

redução da produção agrícola familiar da região, trazendo insegurança alimentar as comunidades agrícolas do Maciço de Baturité.

## REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A. **Agroecología y resiliencia socioecológica:** adaptándose al cambio climático. Medellín: REDAGRES, 2013. 207p.

Araújo, P. H. C.; Cunha, D. A.; De Lima, J. E.; Féres, J. G. Efeitos da Seca sobre a Produtividade Agrícola dos Municípios da Região Nordeste. In: Encontro de Economia Baiana, 9., 2013, Salvador. Anais... Economia Baiana, p. 151-167. 2013.

Bergamaschi H, Dalmago GA, Bergonci JI, Bianchi CAM, Müller AG, Comiran F, et al. Water supply in the critical period of maize and the grain production. **Pesq Agrop Brasileira**, 39 (9): 831–9, 2004.

BUAINAIN, A. M; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformação recentes, desafios e perspectivas. **Confins, Revue franco-brésilienne de géographie, Revista franco brasileira de geografia**, [S.I.], n.19, 2013.

CARVALHO, L. D. **Ressignificação e reapropriação social da natureza:** práticas e programas de “convivência com o semiárido” no território de Juazeiro-BA. 2010. 342 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

DUQUE, G. “Conviver com a seca”: contribuição da Articulação do Semiárido/ASA para o desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S.I.], n.17, p.133-140, jan./jun. 2008.

FUKUDA, C., OTSUBO, A.A. Cultivo da mandioca-Sistema de Produção. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Em <http://www.cnpmf.embrapa.br/>(acessado em 14/10/2021).

FUNCME/SEMACE. Mapeamento da cobertura vegetal e do uso/ocupação do solo da APA da Serra de Baturité – CE. Fortaleza, 2006.

IBAMA. MINISTÉRO DO MEIO AMBIENTE. Planejamento Biorregional do Maciço de Baturité. Fortaleza, CE: Banco do Nordeste, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Censo agropecuário 2006:** resultados preliminares. Brasília, DF: IBGE, 2006. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 152 dez. 2020.

GALINDO, E. C. M. **Intervenção rural e autonomia:** a experiência no Semiárido/ASA em Pernambuco. Recife: UFPE, 2008.

MALVEZZI, R. **Semiárido:** uma visão holística. Brasília: Confea, 2007. (Série Pensar o Brasil e Construir o Futuro da Nação.).

MALVEZZI, R. Personagens das águas. In: MALVEZZI, R. Água nos agrossistemas: aproveitando todas as gotas. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia,** [S.I.], v.7, n.3, out. 2010.

PEIXOTO, M. **O Brasil e a convenção das Nações Unidas para o combate à Desertificação.** Brasília: Senado Federal, 2012.

PEREIRA, A. R. ANGELOCCI, L. R. Sentelhas, P. C. Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Prática. Guaíba: Agropecuaria, 2001.

SANTOS, C. A. C.; Manzi, A. O. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará e suas relações com a temperatura dos Oceanos Tropicais., Revista Brasileira de Meteorologia v. 26, p. 157-165, 2013.

SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o semiárido:** transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento. 2006. 298 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SOUZA, M. J. N. de. Et al. Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité: **Diagnóstico e Diretrizes. Fortaleza, CE: Semace,** 1992.  
TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, SUPREN, 1977.

SOCOLOWSKI, F. TAKAKI, M, Germination of jacaranda mimosifolia (D. Don-Bignoniaceae) seeds: **effects of light, temperature and water stress.** Brazilianian, 2004.

WILHITE, D. A; BUCHANAN SMITH, M. Droughth as hazard: Understanding the natural and social context. In: WILHITE, D. A. ed. **Drought and water crises science, tecgnology, and management issues.** Boca Raton, FL, CRC Press, 2005.

VEIGA. R.M.P.; TOMASELLA.J; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A. Identifiifying áreas susceptible to desertification in the Brazilianian, 2015.



# **VULNERABILIDADE DO SOLO EM ÁREAS DE DESERTIFICAÇÃO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE MORADA NOVA NO CEARÁ**

*Carlos Phelipe Barbosa de Alcântara*

*Emerson Mariano da Silva*

## **1. INTRODUÇÃO**

Encontra-se na literatura que a desertificação é definida como sendo a degradação do solo em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, decorrente de uma combinação de fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. Esse fenômeno é caracterizado por uma perda significativa da capacidade produtiva do solo, afetando não apenas o equilíbrio ecológico, mas também a economia e o bem-estar das populações locais (Becerril-Piña e Mastachi-Loza, 2021).

A preocupação com a desertificação ganhou projeção internacional principalmente após os impactos devastadores do *Dust Bowl* nos Estados Unidos durante a década de 1930. Esse período histórico evidenciou como a interação entre práticas agrícolas inadequadas e condições climáticas extremas pode levar a uma rápida deterioração dos solos, resultando em graves consequências socioeconômicas e ambientais (Sterk e Stoervogel, 2020).

Em resposta a crescente à urgência desse problema, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) organizou, em 1977, na cidade de Nairobi, no Quênia, a primeira reunião internacional com o foco explícito em discutir a

desertificação. Esse encontro marcou o início de um esforço global para entender melhor, combater e prevenir a degradação das terras secas. A iniciativa sinalizou um reconhecimento da necessidade de ação coletiva e de políticas integradas que abordassem tanto as causas subjacentes quanto os efeitos da desertificação, abrindo caminho para futuras convenções e programas internacionais dedicados a mitigar esse desafio ambiental.

Menciona-se que a análise e o monitoramento do solo são de grande relevância, pois permitem a compreensão mais profunda do comportamento e facilitam a adoção de medidas preventivas em relação ao processo de desertificação. Assim, a análise do solo pode auxiliar o planejamento de ações que objetivam a mitigação e a adaptação dessas áreas às variabilidades e mudanças climáticas, bem como à desertificação. O manejo e processos adequados do uso e ocupação do solo apresentam grande potencial para reduzir emissões de gases de efeito estufa e de sequestrar carbono, assim, podem aumentar a capacidade dessas áreas de resistir aos avanços dos processos de desertificação (Rosendahl et al., 2022).

O conhecimento e o controle do potencial hidrogeniônico (pH) do solo podem auxiliar nas escolhas e no cultivo das plantas, influenciando diretamente a saúde, o crescimento e a produtividade agrícola de uma determinada região. De acordo com Weil e Brady (2016) o pH do solo afeta significativamente a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Assim, em solos com pH extremamente ácido ou alcalino certos nutrientes podem se tornar menos disponíveis para as plantas, que resulta em deficiências nutricionais que prejudicam o desenvolvimento. Em adição, menciona-se que o pH é um dos principais fatores que influenciam a distribuição e a função dos microrganismos no solo, e afeta a composição da comunidade e a diversidade microbianas, que por sua vez impacta nos processos de decomposição da

matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo (Wang *et al.*, 2019; MSU Extension, 2019).

Estudos indicam que muitos microrganismos têm faixas de pH ideais para a atividade metabólica, assim, o desequilíbrio do pH pode afetar negativamente a diversidade e função desses metabólicos do solo. Além disso, Ghuman e Lal (1991) destacam a influência do pH na estrutura do solo, que pode afetar a capacidade de retenção de água, de aeração e de penetração de raízes das plantas no solo.

De acordo com Smith *et al.* (2018) a capacidade de absorção de água pelo solo desempenha um papel essencial na preservação da fertilidade do solo e na sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. Essa capacidade é influenciada por diversos fatores, tais como textura, compactação, estrutura, teor de matéria orgânica e a presença de microrganismos benéficos. A absorção de água é um elemento que pode afetar a análise do ciclo hidrológico de uma região, permitindo avaliar se a água das precipitações apenas escoa superficialmente ou penetra até os níveis freáticos.

Diante disto, fica evidente a importância do conhecimento dos parâmetros físicos do solo, que pode ser realizado através de medidas específicas, e que podem auxiliar no controle do pH do solo dentro de uma faixa satisfatória que promova um ambiente de crescimento saudável para as plantas, e assim, minimize os riscos de doenças e pragas, bem como a auto degradação, processo que leva as áreas a adquirirem as características de desertificação.

Neste contexto, este estudo é parte de projeto que objetiva analisar os parâmetros físicos do solo (acidez, grau de compactação, limites de liquidez e plasticidade) em núcleos de desertificação no estado do Ceará, região semiárida do nordeste brasileiro. Assim, objetiva-se neste recorte metodológico a avaliação do pH do solo em um sítio (amostra) da região do município de Morada Nova (CE), microrregião do Vale do Rio Jaguaribe no

Ceará. Em adição, visa entender sobre a relação entre o uso do solo e as dificuldades enfrentadas pela comunidade residente na região em estudo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área estudo está localizada no município de Morada Nova, especificamente no núcleo de desertificação no Vale do Rio Jaguaribe no estado do Ceará (Figura 1). O município está localizado a 162 km de distância da capital do estado (Fortaleza/CE) e possui uma extensão territorial de 2.779km<sup>2</sup>. Conforme indicado pelo mapa de núcleos de desertificação da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) esta região em estudo é classificada como altamente degradada, com processo de desertificação em progresso, situação que evidencia os desafios ambientais enfrentados pelas comunidades desta região.

Historicamente a economia da região tem sido impulsionada pela agricultura, com destaque para a produção de frutas, como melão e melancia, e de grãos, como milho e feijão. Além disso, a pecuária também desempenha um papel relevante na economia do município, com a criação de bovinos, caprinos e ovinos.

O clima observado nesta região é classificado como semiárido, com pluviosidade média anual de 540 mm e temperaturas médias do ar em torno de 27 °C, apresenta um ambiente marcado pela escassez de chuvas e altas temperaturas máximas do ar ao longo do ano. Nesse cenário, a vegetação predominante é a característica do bioma Caatinga, caracterizada por árvores de pequeno porte, cactáceas e arbustos resistentes.

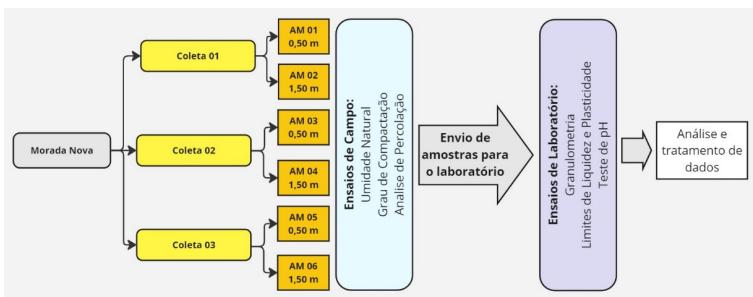
**Figura 1** – Localização geográfica do município de Morada Nova no Ceará.



Foram realizadas três rodadas de coleta, cada uma composta por duas amostras de solo obtidas em profundidades de 0,50 e 1,50 metros, totalizando seis amostras no conjunto. Em seguida foram executados os testes em campo para avaliar as propriedades físicas e químicas do solo, incluindo a umidade, a textura e a permeabilidade.

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para ensaios de laboratório mais detalhados, nos quais foram realizadas análises mais precisas e específicas, como determinação da composição mineralógica, granulometria e resistência do solo. Esse ciclo de coleta, teste e análise foi repetido em três ocasiões distintas ao longo do estudo, garantindo uma amostragem abrangente, conforme mostra o fluxograma apresentado na Figura 2.

**Figura 2** – Fluxograma de coleta, ensaios e tratamento de dados.



A verificação da umidade natural do solo foi realizada utilizando-se o aparelho *Speedy Test*, um dispositivo rápido e preciso que funciona com base na reação química entre o carbureto de cálcio ( $\text{CaC}_2$ ) e a água presente no solo. Essa reação produz gás acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) cuja quantidade é diretamente proporcional à umidade do solo. Assim, as medições são realizadas por um manômetro integrado ao *Speedy Test* que registra a pressão gerada pelo gás e permite determinar a umidade do solo com precisão (Figura 3).

**Figura 3** – Coleta das amostras em campo.



## 2.1 Análises laboratoriais

As amostras foram submetidas à secagem em estufa para o cálculo da umidade higroscópica, a umidade residual que não é capaz de ser evaporada ao ar, de acordo com a norma rodoviária DNER-ME 213-94, representada na equação mostrada a seguir.

$$H(\%) = \frac{ma}{ms} \times 100$$

Em que:

$H(\%)$  = Percentual de umidade higroscópica;

$ma$  = massa de água evaporada;

$ms$  = massa do solo seco após a secagem.

A umidade higroscópica de materiais finos, tais como a argila, tende a ser maior do que em materiais arenosos ou pedregulhosos, por conta de apresentar maior área superficial em comparação com materiais mais grosseiros. Assim, essa maior área superficial

permite que se tenha mais locais de absorção para a água, resultando em uma capacidade higroscópica maior.

Em seguida as amostras foram destoroadas e submetidas ao ensaio de granulometria de acordo com a norma rodoviária DNER-ME 080/94 (Figura 4). Neste ensaio de granulometria as aberturas das peneiras desempenham um papel importante na classificação das partículas contidas no solo. Este ensaio utiliza uma série de peneiras com aberturas gradativamente menores para separar o solo em frações distintas.

A areia fina, por exemplo, é caracterizada por partículas que passam pela peneira nº 40 (0,425 mm) e ficam retidas na nº 200 (0,075 mm). O pedregulho, por sua vez, é composto por partículas que ficam retidas na peneira nº 4 (4,75 mm) ou em peneiras de abertura maior. Dessa forma, partículas que passam pela peneira nº 200 são as mais finas, sendo classificadas como silte e argila, que possuem diâmetros menores que 0,075 mm.

**Figura 4** – Peneiras e parâmetros de granulometria (polegadas e milímetros).



| Pol | 2"   | 1"   | 3/8" | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 |
|-----|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| mm  | 50,8 | 25,4 | 9,5  | 4,8  | 2     | 0,42  | 0,074  |

Também foram realizados ensaios de índices físicos, determinação do limite de liquidez, segundo a ABNT NBR 6459, e determinação do limite de plasticidade. Segundo a ABNT NBR 7180. Os limites de Atterberg, especialmente o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP), estão diretamente relacionados com a impermeabilização do solo. Assim, solos com altos valores de LL e LP geralmente contêm uma alta proporção de argila, que possui partículas muito finas e uma alta capacidade de retenção de água.

Para a aplicação da metodologia dos testes de pH os materiais foram dispostos em tubos de ensaio, conforme mostrado na Figura 5, junto com água desmineralizada. Após um período de imersão de 24 horas os testes foram realizados utilizando-se fitas de pH para avaliar as variações nos níveis de acidez ou alcalinidade. Além disso, como parte do protocolo, um teste também foi conduzido na água pura para confirmar de maneira definitiva o pH neutro. Este procedimento garantiu a precisão das medições e a validade dos resultados obtidos. Em adição foi realizado o teste de pH em um solo adubado fértil, expandindo a análise para incluir um ambiente mais complexo e relevante para possíveis aplicações práticas.

O material de solo utilizado para análises químicas foi a terra fina seca ao ar livre (TFSA), que é por definição operacional, ou seja, o material de solo seco ao ar livre e passado por peneira com malha de 2 mm, assim, utilizou-se uma diluição de 1:2,5 para se obter os padrões semelhantes aos definidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Figura 5).

**Figura 5** – Tubos de ensaio com material e referência para teste de pH.



| Classificação Química                 |                      |                |              |              |           |                    |                      |
|---------------------------------------|----------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|--------------------|----------------------|
| Característica                        | Acidez Muito elevada | Acidez elevada | Acidez média | Acidez fraca | Neutra    | Alcalinidade Fraca | Alcalinidade elevada |
| ph <sup>1</sup>                       | < 4,5                | 4,5 - 5,0      | 5,1 - 6,0    | 6,1 - 6,9    | 7,0       | 7,1 - 7,8          | > 7,8                |
| Classificação Agronômica <sup>2</sup> |                      |                |              |              |           |                    |                      |
| Característica                        |                      |                | Muito baixo  | Baixo        | Bom       | Alto               | Muito Alto           |
| ph                                    |                      |                | <4,5         | 4,5 - 5,4    | 5,5 - 6,0 | 6,1 - 7,0          | >7,0                 |

<sup>1</sup> pH em H<sub>2</sub>O, relação 1:2,5 TFSAs: H<sub>2</sub>O

<sup>2</sup> A qualificação utilizada indica adequado (Bom) ou inadequado (Baixo ou Alto).

**Fonte:** Mendes, 2007.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de laboratórios apresentados na tabela a seguir (Tabela 1) mostram os solos na região tendem a ser menos permeáveis, pois a estrutura densa e a coesão das partículas de argila dificultam a passagem da água.

**Tabela 1** – Resultados obtidos em laboratório (Umidade higroscópica).

| Amostra              | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      |
|----------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Umidade Higroscópica | 0,90 % | 3,70% | 0,90 % | 0,70 % | 1,10 % | 0,60 % |

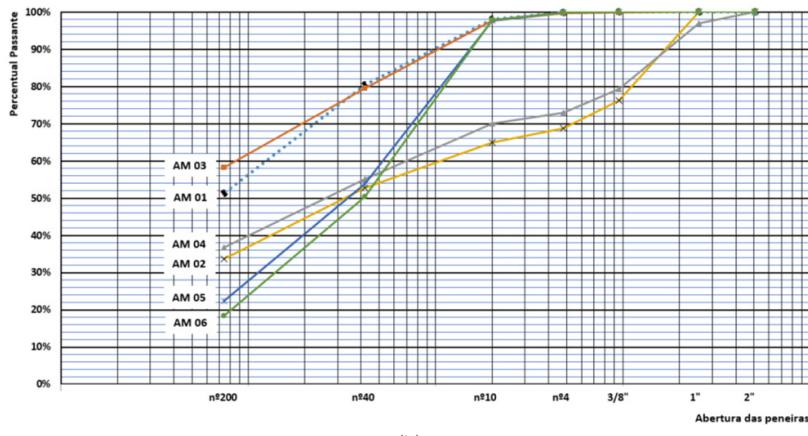
Estes resultados também mostram que o percentual de argila dos materiais estudados variou de 18,3% a 58,3%, o que representa um percentual alto quando considerado isoladamente. Este alto teor de argila sugere uma significativa capacidade de retenção de água e potencial de plasticidade do solo (Figura 6). Em adição, observou-se que com exceção da amostra 2, na qual os valores de grau de compactação superaram 92%, os demais apresentaram graus de compactação em torno de 70%.

Além disso os resultados mostram que as coletas 01 e 02 apresentaram resultados semelhantes em relação às profundidades de coleta. Especificamente, a amostra 1 mostrou curva granulométrica semelhante a obtida nas análises da amostra 3, enquanto a amostra 4 apresentou uma curva similar a obtida para a amostra 2, demonstrando consistência nos padrões de distribuição granulométrica nessas amostras. No caso da amostra 6 os índices físicos foram identificados como NL (Não Líquido) e NP (Não Plástico), essa classificação indica que a amostra não apresentou plasticidade suficiente para a realização do ensaio de limites de Atterberg.

**Figura 6** – Tubos de ensaio com material e referência para teste de pH.

| Coleta    | Amostra | P (m) | Granulometria            |      |       |       |       |       |       |       | Índices Físicos |       |       | Teor de Umidade | Densidade in situ (g/cm³) | Grau de Compactação | Classificação HRB |       |  |  |  |
|-----------|---------|-------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|---------------------------|---------------------|-------------------|-------|--|--|--|
|           |         |       | Percentual que Passa (%) |      |       |       |       |       |       |       | % Silt + Argila | LL %  | LP %  | IP %            |                           |                     |                   |       |  |  |  |
|           |         |       | Peneiras Nº              |      |       |       |       |       |       |       |                 |       |       |                 |                           |                     |                   |       |  |  |  |
|           |         |       | 3"                       | 2"   | 1"    | 3/8"  | 4     | 10    | 40    | 200   |                 |       |       |                 |                           |                     |                   |       |  |  |  |
| Coleta 01 | 1       | 0,50  | 100%                     | 100% | 100%  | 100%  | 99,9% | 98,1% | 80,4% | 51,3% | 51,3%           | 25,7% | 15,4% | 10,3%           | 14,4%                     | 1,393               | 77,23%            | A-4   |  |  |  |
| Coleta 01 | 2       | 1,50  | 100%                     | 100% | 100%  | 76,3% | 68,8% | 65,0% | 52,8% | 33,6% | 33,6%           | 24,0% | 17,7% | 6,3%            | 10,2%                     | 1,439               | 78,29%            | A-2-4 |  |  |  |
| Coleta 02 | 3       | 0,50  | 100%                     | 100% | 100%  | 99,9% | 99,7% | 97,6% | 79,5% | 58,3% | 58,3%           | 33,2% | 22,2% | 11,0%           | 10,8%                     | 1,805               | 99,79%            | A-4   |  |  |  |
| Coleta 02 | 4       | 1,50  | 100%                     | 100% | 96,9% | 79,4% | 73,0% | 70,0% | 55,0% | 36,7% | 36,7%           | 23,2% | 15,4% | 7,8%            | 10,5%                     | 1,801               | 92,67%            | A-4   |  |  |  |
| Coleta 03 | 5       | 0,50  | 100%                     | 100% | 100%  | 100%  | 99,9% | 97,7% | 53,9% | 22,5% | 22,5%           | 17,6% | 13,4% | 4,2%            | 10,1%                     | 1,471               | 73,85%            | A-2-4 |  |  |  |
| Coleta 03 | 6       | 1,50  | 100%                     | 100% | 100%  | 100%  | 99,9% | 97,9% | 50,4% | 18,3% | 18,3%           | NL    | NP    | -               | 10,2%                     | 1,503               | 78,74%            | A-2-4 |  |  |  |

(a)



(b)

As análises dos resultados obtidos ainda mostraram que em quatro das seis amostras a acidez encontrada nos testes de pH foi de 5,0. Valores abaixo dos obtidos na comparação com o solo adubado que foi de 6,0 (acidez fraca) e para a água que foi utilizada para formar a solução que foi de 7,0 (pH neutro). De acordo com o quadro de acidez de referência mostrado na Figura 5, o pH obtido das coletas (com exceção da coleta 02) se valores que indicam acidez elevada, o que pode ter implicações significativas na fertilidade do solo encontra da região em estudo. Essa constatação sugere que os materiais testados podem ter potencialmente efeitos adversos sobre o equilíbrio químico e biológico do solo, influenciando diretamente sua capacidade de sustentar o crescimento saudável das plantas e a eficácia dos processos agrícolas.

Em adição, menciona-se que de acordo com esta classificação química o solo da região em estudo é ácido suficientemente para interferir na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, tais como o fósforo, o cálcio e o magnésio. Esta acidez também pode aumentar a solubilidade de elementos tóxicos no solo, como da quantidade do alumínio e do manganês, prejudicando

as raízes das plantas e diminuindo a produtividade agrícola das comunidades que vivem nesta região em estudo.

**Tabela 2** – Resultados obtidos em laboratório (pH).

| Amostra | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| pH      | 5,0 | 5,0 | 6,0 | 6,0 | 5,0 | 5,0 |

As análises do pH e absorção de água realizadas neste estudo alertam para o aumento da vulnerabilidade do solo, que também está relacionada a variabilidade climática observada e que naturalmente promovem a desertificação e degradação do solo na região, comprometendo o desenvolvimento das culturas de subsistências que são a base do desenvolvimento econômico das comunidades que vivem nesta região. Para efeito de conhecimento é apresentado na tabela a seguir (Tabela 3) os valores dos níveis de pH que são ideais para o cultivo de algumas culturas encontradas na região em estudo.

**Tabela 3** – Valores do ideal para cultivo agrícola no semiárido nordestino.

| Cultura Agrícola | pH Ideal  |
|------------------|-----------|
| Milho            | 5,8 – 7,0 |
| Algodão          | 5,8 – 6,5 |
| Feijão           | 6,0 – 7,0 |
| Caju             | 5,5 – 6,5 |
| Mamona           | 5,5 – 6,5 |
| Arroz            | 5,5 – 6,5 |
| Coco             | 5,0 – 8,0 |

Ressalta-se que a compactação e drenagem insatisfatória encontrados no solo da região em estudo contribuem para a impermeabilidade, situação que agrava o processo de salinização, pois nestas situações se observam a dificuldade de infiltração

da água e, assim, se tem um aumento da evaporação das águas superficiais, concentrando os sais na camada superficial do solo. Este processo reduz a capacidade das plantas de absorver água, e degrada a estrutura do solo, diminui a fertilidade e favorecendo o processo de desertificação observado na região, concordando com o encontrado na literatura para outras regiões em processo de desertificação no planeta (Herrmann e Hutchinson, 2005; Schaldach et al., 2013; Albuquerque et al., 2018).

#### **4 CONCLUSÃO**

A degradação e o processo de desertificação diagnosticados na região em estudo refletem uma realidade observada em outras áreas em regiões do semiárido nordestino brasileiro. As causas desse desequilíbrio ambiental estão diretamente relacionadas aos diversos usos e ocupações, tanto no passado quanto presente, que não consideraram a necessidade de equilibrar a exploração com a capacidade de produção dos recursos naturais. A intensa atividade agrícola e pecuária, associada a práticas extrativistas e à expansão desordenada de áreas cultivadas, tem levado à sobre-carga dos ecossistemas, resultando em solos cada vez menos férteis e suscetíveis à erosão e a intensificação do processo de desertificação nestas áreas.

Os resultados deste estudo evidenciam que os solos da região se apresentam com maior acidez, ou seja, com menores valores de pH, que por sua vez tendem a apresentar menor capacidade de retenção de CO<sub>2</sub>, situação que afeta negativamente a fotossíntese e o crescimento das plantas. Este fenômeno é especialmente preocupante em biomas como a Caatinga, como encontrado na região, que já possuem vegetação esparsa e menor diversidade faunística, favorecendo a aceleração do processo de degradação ambiental.

Os relatos dos residentes da área concordam com as análises quantitativas obtidas neste estudo sobre os impactos ambientais e socioeconômicos do processo de desertificação observado na região, fato que reforça a importância das medidas realizadas e do acompanhamento dos parâmetros físicos do solo para orientar as comunidades existentes em suas práticas agrícolas sustentáveis e para auxiliar o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a conservação do solo e da vegetação nativa existente nesta região.

A implementação de técnicas de monitoramento, como os ensaios de pH, pode fornecer informações valiosas para a identificação precoce de áreas em risco de desertificação, permitindo a adoção de medidas preventivas e mitigatórias. Além disso, a educação ambiental e o engajamento das comunidades locais são muito importantes para a promoção de práticas de manejo que preservem a estrutura do solo e a biodiversidade, garantindo a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas.

Por fim, menciona-se que é necessário um esforço conjunto entre o poder público e a iniciativa privada para implementar ações de mitigação e convivência com os impactos da variabilidade do clima, bem como das práticas agrícolas nos recursos naturais da região.

## **REFERÊNCIAS**

Albuquerque, D.S.; Souza, S.D.G.; Souza, A.C.N.; Sousa, M.L.M.  
Cenário da desertificação no território brasileiro e ações de combate à problemática no estado do Ceará, Nordeste do Brasil.  
**Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.55, p. 673-696. 2020.

BECERRIL-PIÑA, R.; MASTACHI-LOZA, C.A. Desertification: Causes and countermeasures. **Life on Land**, p. 219-231, 2021.

FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Mapa das Áreas Fortemente Degredadas no Estado do Ceará, 2016 – Escala 1:600.000, 2016. Disponível em: <http://www.funceme.br/>.

GHUMAN, B. S.; LAL, R. Land Clearing and Use in the Humid Nigerian Tropics: II. Soil Chemical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 1, p. 184–188. 1991.

HERRMANN, S. M.; HUTCHINSON, C. F. The changing contexts of desertification: linking multiple scales and disciplines. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, p. 193-215, 2005.

MSU EXTENSION. Soil pH and nutrient availability. Montana State University, 2019. Disponível em: <https://apps.msuextension.org/>.

ROSENDALH, J.; ERLEWEIN, A.; HECHELTJEN, A. UNCCD COP 14: Mirroring Soil and Land's Growing Relevance at the Interface of Climate and Biodiversity; Discussion Focus on Drought and Land Tenure. In: Ginzky, H., et al. International Yearbook of Soil Law and Policy 2020/2021. International Yearbook of Soil Law and Policy, vol 2020. Springer. 2022.

SCHALDACH, R.F.W.; KOCH, J.; VOLAND, J.; GEIBLER, K.; KÖCHY, M. Model-based analysis of the environmental impacts of grazing management on Eastern Mediterranean ecosystems in Jordan. **Journal of Environmental Management**, v.127 Suppl., p.S84-S95. 2013.

SMITH, P.; LUTFALLA, S.; RILEY, W.J.; TORN, M.S.; SCHMIDT, M.W.I.; SOUSSANA, J.F. The changing faces of soil organic matter research. **European Journal Soil Science**, 69: 23-30. 2018.

STERK, G.; STOORVOGEL, J.J. Desertification-scientific versus political realities. Land, v. 9, n. 5, p. 156, 2020.

UNIVERSITY OF IDAHO. Bean Growth Guide. 2020. Disponível em: <https://www.uidaho.edu/-/media/UIdaho->.

WANG, C.; ZHOU, X.; GUO, D.; ZHAO, J.; YAN, L.; FENG, G.; GAO, Q.; YU, H.; ZHAO, L. Soil pH is the primary factor driving the distribution and function of microorganisms in farmland soils in northeastern China. **Annals of Microbiology**, v. 69, n. 12, p. 1461-1473, 2019.

Weil, R.; Brady, N. The Nature and Properties of Soils. 15th edition. 2017.



# **IMPACTOS FUTUROS DA VARIABILIDADE DO CLIMA E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DO CEARÁ**

*Roberto José Almeida de Pontes*

*Thiago Pinheiro de Farias*

*Emerson Mariano da Silva*

## **1 INTRODUÇÃO**

A desertificação que leva à degradação do solo é um fenômeno impulsionado por uma combinação de fatores naturais e atividades humanas inadequadas. Assim, as mudanças climáticas que são provenientes das ações antrópicas, representam um dos principais fatores que podem contribuir para o processo de desertificação em uma determinada região. Uma vez que afeta os padrões climáticos globais e regionais, influenciando a distribuição das chuvas e a frequência de ocorrência de eventos extremos, como as secas, as tempestades e os períodos com altas temperaturas do ar (CNUMAD, 1992).

A disponibilidade reduzida de água e a diminuição da produtividade agrícola afetam diretamente as comunidades rurais dependentes da agricultura e pecuária para sobreviver, assim, afetam a segurança alimentar e o bem-estar socioeconômico dessas comunidades IPCC (2007).

Na região Nordeste do Brasil, sobretudo nas regiões que compõem o estado do Ceará, a variabilidade natural bem como

as mudanças climáticas que podem afetar o meio ambiente se torna uma grave ameaça, pois a maior parte desse território é classificado como semiárido que é descrito na literatura como uma área suscetível ao processo de desertificação.

A principal característica climática da região semiárida nordestina é a irregularidade na distribuição das chuvas, com volume médio anual em torno dos 750 mm, e alta variabilidade espaço-temporal, com longos períodos de estiagem, que com as altas temperaturas do ar elevam consideravelmente os níveis de evaporação da água acumulada nas estruturas hídricas (Neves et al., 2010).

Menciona-se que o clima observado na região é desfavorável para produção de alguns alimentos, em particular das culturas agrícolas de subsistência que necessitam de manejo com chuvas distribuídas uniformemente ao longo do tempo, e que representam fonte de renda de famílias classificadas como da agricultura familiar.

Para Cutter et al. (2003) essa vulnerabilidade ambiental pode ser analisada tanto como risco biofísico, quanto como uma resposta social, ambos dentro de um domínio espacial onde se identifica a localização de pessoas e áreas vulneráveis ao risco natural, assim, registre-se quais destas pessoas se enquadram no grupo social de maior vulnerabilidade, sendo possível a integração das duas análises.

Para a análise social essa vulnerabilidade se torna um conceito multidimensional que identifica as características de comunidades que as tornam capazes, ou não, de responder ou se recuperar de um desastre natural. Assim, menciona-se que existe uma relação entre o processo de desertificação e a vulnerabilidade que afeta a qualidade de vida e o ecossistema das comunidades (Souza et al., 2008).

Em relação as regiões cearenses, menciona-se que se encontram 95,1% dos municípios classificados como regiões semiáridas e, em geral, inseridos no Bioma Caatinga, com solo raso e cristalino, que associado a variabilidade climática observada na região, os tornam suscetíveis ao processo desertificação.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma reflexão crítica e reflexiva sobre os impactos atuais e futuros do processo de desertificação sobre a produção de alimentos no estado do Ceará e suas consequências na agricultura familiar.

## **2 O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS**

O processo de desertificação é um problema de significado universal que tem consequências diretas sobre a sociedade e o meio ambiente e indireta nas esferas econômicas mundiais. O botânico e ecólogo francês Aubreville (1949) foi um dos primeiros pesquisadores deste fenômeno ambiental, declarando que é a conversão de terras férteis em desertos, causados por atividades antrópicas e que levaram à erosão dos solos, causando a diminuição da produtividade na agricultura, à redução da biomassa e da diversidade do ecossistema, e à degradação acelerada dos solos.

O tema da desertificação evidencia-se como relevante, haja vista que o risco de sua ocorrência alcança aproximadamente 4 bilhões de hectares em mais de 100 países, afetando diretamente mais de 250 milhões de pessoas (Irshad, 2007). A desertificação é considerada uma das importantes adversidades ambientais que a humanidade enfrenta atualmente, pois diminui a disponibilidade dos serviços ecossistêmicos, aumenta a insegurança alimentar e afeta o bem-estar das sociedades, tornando-a assim reconhecida pela comunidade internacional como um problema econômico, social e ambiental (Rastgoo e Hasarfard, 2022).

Fundamentado no conceito oficial exposto pela convenção da Organização das Nações Unidas (ONU) que preconiza a desertificação como o processo de degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas, resultante de vários fatores, entre esses a variação climática e as atividades humanas, observam-se a indicação de imprecisão nos fatores atribuídos ao processo, tendo em vista a evidência da frase: “[...] resultantes de vários fatores [...]” (UNCDD, 2018).

Tais problemas atraíram a atenção pública mundial e da Organização das Nações Unidas (ONU) que convocou a primeira conferência sobre desertificação, realizada em 1977, passando o processo a ser fortemente debatido como um sério problema ambiental de consequências humanas, sociais e econômicas (DREGNE, 1987). O interesse na temática da desertificação advém dos prejuízos ambientais, humanos e pecuários acarretados pelas repetidas condições de seca na região de Sahel (Rhodes, 1991).

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro, conclui-se que a desertificação decorre de vários fatores, como as variações climáticas e as atividades humanas resultantes da degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, fatores estes que se tiverem ação contínua, convertem terras secas em desertos. (Cnumad, 1992; Mouat et al., 1997).

Visando identificar as áreas suscetíveis à desertificação a ONU propôs o Índice de Aridez (IA) que consiste na razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial, calculando-se esta última pelo método de Thornthwaite. As áreas potencialmente suscetíveis ao processo estariam situadas dentro do IA de 0,05 a 0,065, que engloba as zonas de climas árido, semiárido e subúmido seco (UNEP, 1991). Indicadores de desertificação incluem processos físicos, biológicos e Socioeconômicos como erosão, salinização, uso da terra (Mouat et al., 1997).

A degradação antrópica das terras tem início com a diminuição ou a destruição da cobertura vegetal devido ao super pastoreio, à agricultura, ao extrativismo mineral e a outras atividades que modificam as condições naturais existentes. A ação antrópica induz principalmente a erosão laminar com a destruição da cobertura vegetal natural que se agrava com as irregularidades pluviométricas, criando as condições materiais para o estabelecimento dos processos de desertificação.

Para Araújo Filho (2001) os desertos começam a se formar com as mudanças na composição florística da comunidade vegetal desaparecendo a vegetação original, desaparecimento intensificado pela destruição gradual da camada florística e a consequente redução do aporte de matéria orgânica que se manifesta no solo com a perda de fertilidade e da estrutura. Para Conti (1998) as mudanças na comunidade vegetal podem ter por causa mudanças climáticas ou degradação por atividades antrópica o que levaria, respectivamente, aos tipos de desertificação climática e ecológica.

Rodrigues (2000) considera que as condições de semiaridez são uma das grandes dificuldades para a utilização e manejo dos recursos naturais, o que é agravado pelas atividades humanas que resultam na eliminação da cobertura vegetal original e perda parcial ou total do solo, por fenômenos físicos ou químicos, e na ocupação da área por espécies de plantas invasoras, culminando com a redução da biodiversidade.

Em relação ao processo de desertificação na região semiárida do nordeste brasileiro, Ab'saber (1977) e Vasconcelos Sobrinho (1978) mencionam que as grandes áreas do nordeste brasileiro sofrem graves processos de desertificação, notadamente nas regiões que compõem o denominado Polígono das Secas, e a vulnerabilidade ecológica na região é decorrente de diversos fatores, tais como: Irregularidade no regime pluviométrico, baixas precipitações, solos rasos, alta insolação anual e ventos secos e quentes.

Segundo Lemos (2000), dos oito estados nordestinos com áreas situadas no semiárido o estado do Ceará apresentou uma percentagem de área afetada intensamente pelo processo de desertificação, atingindo 14% de sua população, cerca de 30% de seu território, contra 26% dos territórios do Rio Grande do Norte e da Paraíba, 25% do Piauí e 23% de Sergipe. O estudo estimou que na região Nordeste se encontram 17% do território afetado pelo processo de desertificação, atingindo, direta ou indiretamente, 11% de sua população desta região.

Soares et al. (1992) que teve por objetivo a indicação e mapeamento das áreas nos municípios e microrregiões homogêneas do estado do Ceará suscetíveis à desertificação, assim, apontam que os municípios de Irauçuba, Massapé e Sobral, da Microrregião de Sobral, apresentam áreas propensas ao processo de desertificação, respectivamente, 50,7%, 32,6% e 41,6% dessas áreas.

Nestas regiões semiáridas as queimadas realizadas para a preparação de novos terrenos de cultivos desempenham papel de grande poder destruidor do ambiente”. Vasconcelos Sobrinho (1983) afirma que ocorre a destruição dos estoques de sementes que poderiam recuperar da cobertura vegetal nativa.

Matallo Júnior (2000) e Lemos (2000) concordam com os autores supracitados e ainda destacam que a pobreza rural é um dos principais fatores associados ao processo de desertificação e que grande parte das áreas afetadas por esse fenômeno coincidem com os bolsões de pobreza do terceiro mundo.

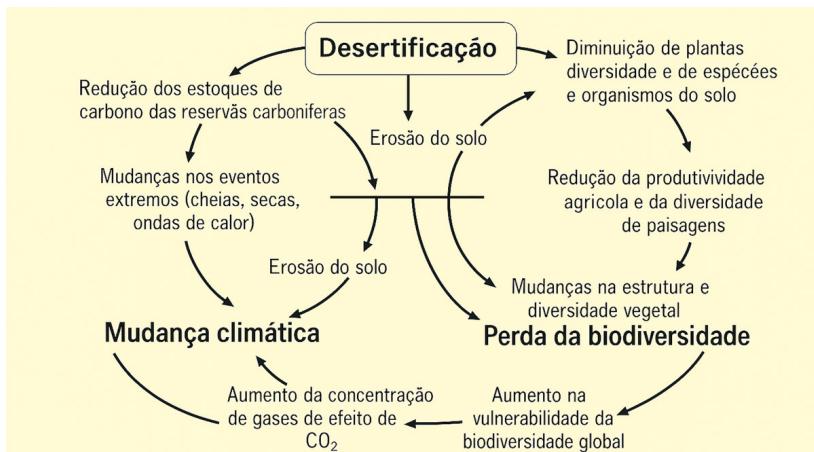
## **2.1 Efeito da variabilidade do clima no processo de desertificação.**

O aquecimento global é consequência do aumento na concentração dos gases do efeito estufa, que por sua vez causa alterações contínuas da composição química da atmosfera com

efeitos persistentes por vários séculos no clima global, fenômeno denominado de “Mudanças Climáticas”.

Segundo MA (2005) a desertificação afeta o processo de mudanças climáticas global por meio da degradação do solo e da perda da vegetação nativa. O solo das terras secas contém mais de um quarto de todos os estoques de carbono orgânico do planeta, bem como aproximadamente todo o carbono inorgânico. Assim, este mecanismo de troca e interações pode, adversamente, afetar a biodiversidade e acelerar a desertificação devido à diminuição na evapotranspiração e, consequentemente, a diminuição das chuvas nas terras secas, conforme mostrado na Figura 1.

**Figura 1** – Representação das interações entre os processos de desertificação, de mudanças climáticas e de perda de biodiversidade.



**Fonte:** Adaptado de Adeel et al., 2005.

Desta forma a diminuição das plantas e da diversidade das espécies dos organismos do solo e a redução da estrutura da biodiversidade da cobertura vegetal e a diversidade de espécies microbiais da crosta da terra, implicam diretamente na redução da conservação do solo, redução da produção primária e ciclagem

de nutrientes que, por sua vez, estão relacionados com a redução do sequestro de carbono nas reservas carboníferas do solo.

De acordo com dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2017) em que pese as transformações do clima, este processo coloca milhões de pessoas em um ciclo vicioso de miséria e má nutrição. Ainda de acordo com os dados da FAO (2017) até 2050 as quedas na produção agrícola coadunadas às mudanças climáticas poderão elevar em 20% o risco de fome no mundo.

O Semiárido brasileiro, portanto, é uma das regiões mais vulneráveis à variabilidade climática atual e às mudanças climáticas futuras no país. Não obstante essa região ser dotada de níveis de precipitação relativamente elevados - de 400 mm a 800 mm por ano e, em algumas ocasiões, até 1.000 mm anuais - (MMA, 2010), as atividades agrícolas estão fortemente limitadas por padrões de precipitação insuficientes e pouco confiáveis, concentradas em poucos meses (três a quatro), bem como níveis de evapotranspiração elevados.

Portanto, a falta de acesso a recursos hídricos e recorrentes eventos climáticos extremos, como as secas, têm afetado durante séculos as atividades agrícolas na região semiárida do país, causando, dentre outros fatores, má-nutrição, migração e mortes prematuras (Obermaier, 2011).

A variabilidade e as possíveis mudanças climáticas, em particular a ocorrência de períodos de secas, contribuem fortemente para o agravamento e acentuação da desertificação nessa região. Para o IPCC (2007), o Semiárido brasileiro pode se tornar uma região árida ao longo do tempo haja vista as mudanças climáticas associadas às secas. Destarte, as consequências disso poderão implicar em reduções da disponibilidade hídrica e no declínio das atividades agrícolas, comprometendo o fator socioeconômico e tornado a população que habita essa região mais vulnerável.

Dados do IPCC (2007) apontam que o semiárido nordestino será uma das regiões brasileiras mais afetadas pelas mudanças climáticas globais. Reforçando esta afirmação, pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) têm desenvolvido modelos regionais para cenários futuros, com maior resolução espacial.

Os aumentos de temperatura do ar entre 1,5 °C e 5,0 °C, como previstos nos modelos propostos por Marengo (2006), aumentariam a deficiência hídrica dessas regiões semiáridas, afetando consideravelmente a disponibilidade de água para os consumos humano e animal e as atividades produtivas das áreas dependentes de chuva.

Além disso a ocorrência de eventos extremos poderia resultar em maior frequência de chuvas torrenciais e enchentes, provocando severos impactos socioambientais. O aumento na frequência de dias secos consecutivos, as ondas de calor e as estiagens prolongadas, também são esperados com esses aumentos de temperatura previstos. No cenário pessimista, com maior aumento de temperatura do ar (5°C) o semiárido brasileiro poderá se tornar uma região árida (Marengo, 2006). Desta maneira, as mudanças no clima terão influência direta nas características e distribuição da vegetação.

De todos as regiões brasileiras, a região semiárida é a que apresenta a maior vulnerabilidade às mudanças climáticas no aspecto social, principalmente devido a potenciais impactos negativos sobre os recursos hídricos e a agricultura de sequeiro. O entendimento sobre esses impactos que as mudanças climáticas globais poderão causar nesta região é de extrema importância para todos. Nesta direção, as causas e as consequências da desertificação, a degradação ambiental e a situação atual dos recursos naturais no semiárido são assuntos complexos, que precisam ser explorados.

Neste contexto, as perspectivas de pesquisas devem considerar as tendências climáticas do semiárido, a fim de obter

medidas de mitigação e possíveis formas de adaptação às mudanças climáticas, principalmente no que se refere à conservação dos recursos naturais, produtividade agrícola e qualidade de vida da população. A partir destes conhecimentos poderão ser adotadas políticas públicas visando o desenvolvimento sustentável desta região, decorrente da necessidade de aumentar a capacidade adaptativa da sociedade e da economia regional.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Este capítulo apresenta os resultados quanto ao avanço da desertificação e a vulnerabilidade socioeconômica da região de estudo. São mostrados os índices de produção de alimentos e suas tendências estatísticas ao longo de três décadas, além disso, indicadores como renda média, escolaridade, ocupação e participação em programas de transferência de renda também foram analisados a fim de mensurar a vulnerabilidade socioeconômica da população rural cearense.

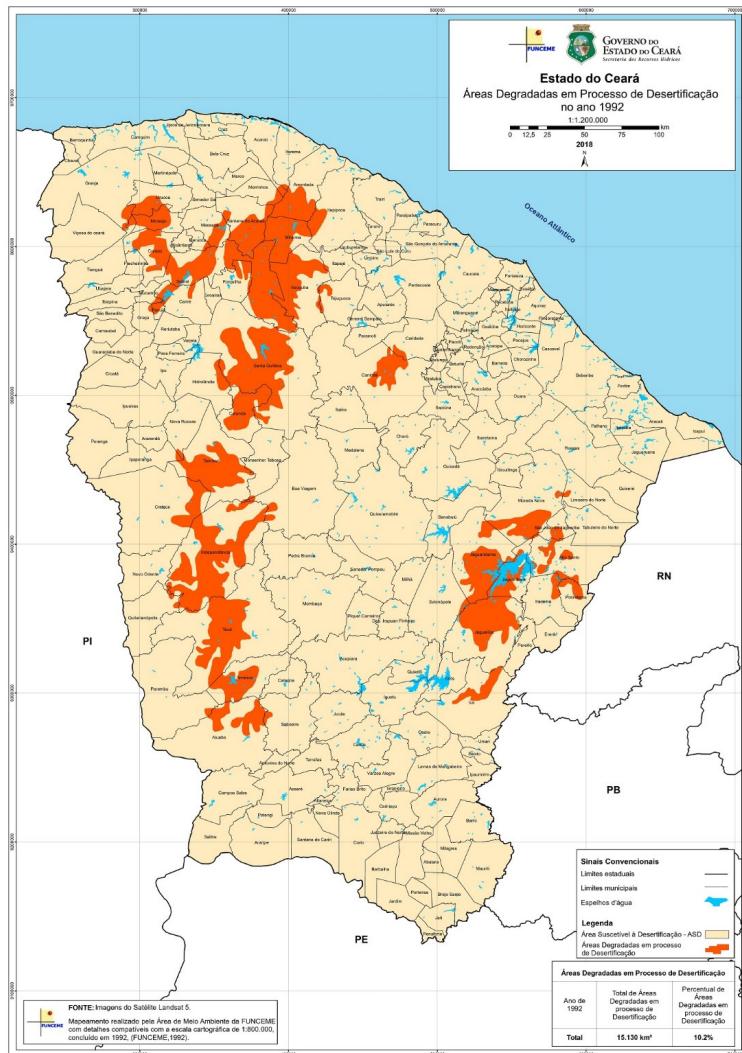
Com o objetivo de analisar a evolução e abrangência do processo de desertificação no estado do Ceará consultamos dados da FUNCEME (1992; 2016) e IBGE (2021), os quais revelaram que a maior parte do território cearense está suscetível ao processo de desertificação.

Em 1992 a FUNCEME identificou uma área de 10,2% do território cearense como tendo sofrido o processo de desertificação em 15.130km<sup>2</sup>. Na segunda pesquisa publicada pela mesma instituição em 2016 o território já somava 17.042,16 km<sup>2</sup> e 11,45% do Estado tendo sofrido desertificação. As figuras 2 e 3 apontam a evolução desse grave problema ambiental observado na região.

A diferença observada entre os dois mapeamentos de 1992 e de 2016 revela um crescimento de 1,25%, que em números

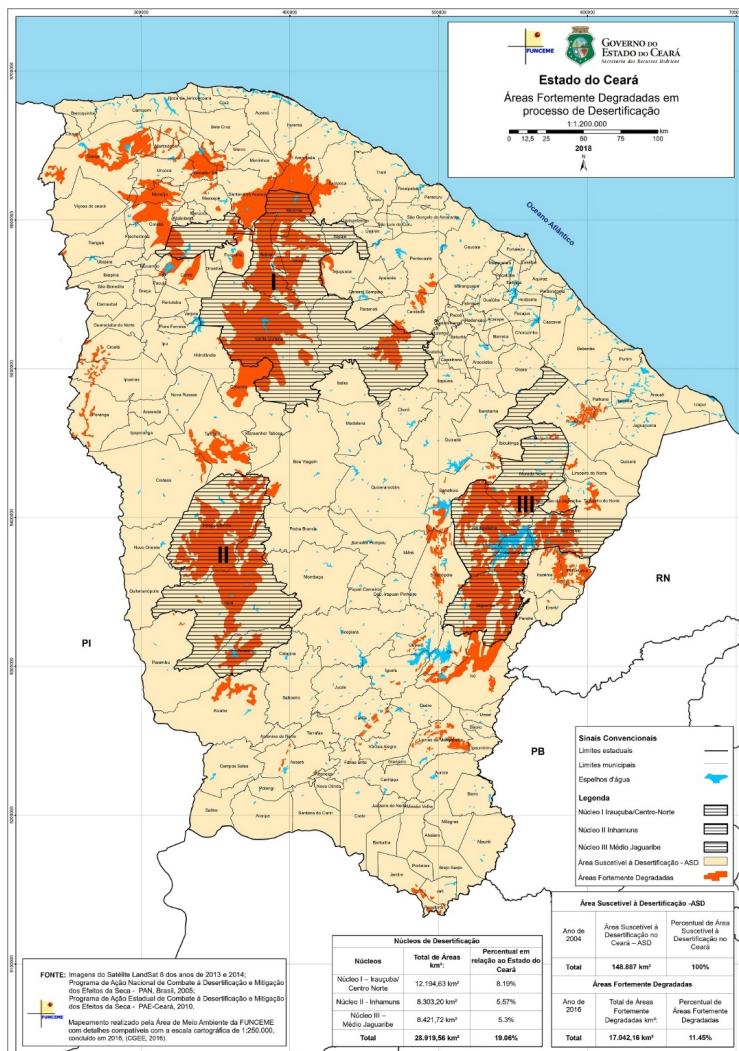
percentuais pode parecer pouco significativo, porém representa 1.912,16 km<sup>2</sup> a mais de território desertificado.

**Figura 2 – Áreas desertificadas no Ceará.**



**Fonte:** FUNCENE (1992).

**Figura 3 – Áreas desertificadas no Ceará.**



**Fonte:** FUNCME (2016).

### **3.1 Consequências da desertificação no estado do Ceará.**

Muito se fala sobre os efeitos futuros da desertificação, porém no território cearense já existem áreas desertificadas onde já se observa seus afeitos. Segundo Guerra (2014) como consequências imediatas desse processo podem-se citar:

A perda de qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, que compromete a produtividade das culturas;

- a. A perda de quantidade de terra arável;
- b. A diminuição da produção de alimentos para subsistência e comercialização;
- c. O agravamento de problemas sociais como desemprego, baixo nível de renda e êxodo rural, ocasionando a condição de pobreza;
- d. Migração, resultando em um maior número de favelas, aliada à incapacidade das cidades de prestar serviços básicos a esta população;
- e. Perda de solos por erosão, que destrói as estruturas (areias, argilas, óxidos e húmus) que compõem o solo, contribuindo para o processo de desertificação;
- f. Assoreamento: fenômeno já bem observável em nossos reservatórios, intensificado pela remoção da vegetação das margens dos reservatórios;
- g. Aumento das secas edáficas relacionadas ao solo, como o solo é um sistema poroso que armazena água, na medida em que se diminui sua espessura (devido a erosão) ele armazena menos água;
- h. Queda na produção, determinada pela perda da matéria orgânica e nutrientes da camada superficial do solo e diminuição da água útil;

- i. Perda da biodiversidade, uma vez que só plantas e animais mais rústicos e resistentes sobrevivem em condições tão desfavoráveis.

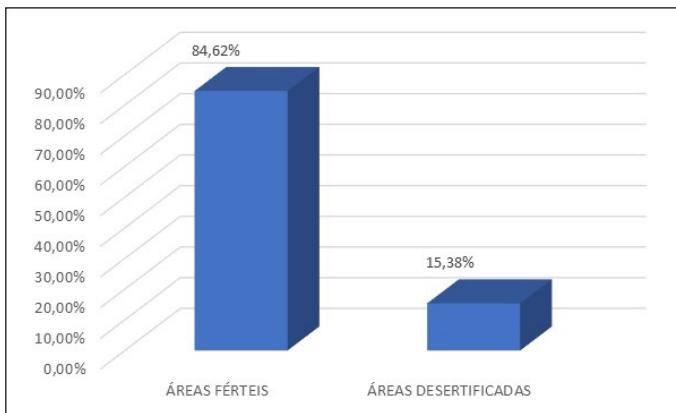
O Estado do Ceará registra as consequências do processo de desertificação em diferentes escalas, pois 11,25% já se encontra em desertificação, além disso, de acordo com o avanço desse problema ambiental todas essas consequências tendem a ser majoradas provocando graves efeitos socioeconômicos sobre a população mais vulnerável.

A análise desses números considerando somente as áreas rurais revela um grande problema ambiental e socioeconômico associado a diminuição das terras agricultáveis, que a longo prazo deve afetar gravemente as populações rurais mais vulneráveis e a economia do estado do Ceará.

Ao se considerar somente as áreas agricultáveis e retirar-se 26% das áreas que representavam outros usos da terra como áreas urbanas tem-se aproximadamente 110.181,88708 km<sup>2</sup>, que representavam todas as terras agricultáveis cearenses, ao se calcular a nova porcentagem considerando o total da área desertificada cerca de 17.042,16 km<sup>2</sup>, em seguida, fazendo-se uma regra de três simples, encontra-se o percentual de 15,38% (ver gráfico 1).

Menciona-se que sob a perspectiva da ação das mudanças climáticas, que provavelmente causará a diminuição do volume hídrico, e somando-se ao desmatamento e manejo inadequado do solo, favorecem o aumento da aridez que gera o processo de desertificação. Dessa forma, ressalta-se as perspectivas das populações locais em contar com menos recursos hídricos e produção de alimentos, inserindo-os em processos de insegurança hídrica e de insegurança alimentar.

**Gráfico 1** – Áreas Agricultáveis no Ceará (Fonte: IPECE, 2024).



Esta hipótese baseia-se no fato da agricultura familiar desta região se basear na produção agropecuária para autoconsumo, ou seja, as famílias desta região consomem mais do que se comercializam a produção. Segundo dados do censo agropecuário do IBGE (2017), o estado do Ceará possuí 75,5% dos estabelecimentos agropecuários classificados como agricultura familiar, distribuídos em uma área de 3.342.608 hectares. Além disso, os dados também indicaram que a participação da produção dos estabelecimentos de agricultura familiar no valor bruto da produção agropecuária foi de cerca de 40% (IBGE, 2019).

Tendo como base a principal fonte de renda da família, o censo agropecuário IBGE (2017) revela que aproximadamente 44% das propriedades da agricultura familiar brasileira possuem a agricultura como principal fonte de renda, na região nordeste a porcentagem é em torno de 30%, e no Ceará esse número é de apenas 26,4% do total das propriedades pesquisadas.

Diante de dados apresentados se observa de modo inequívoco a vulnerabilidade ambiental e socioeconômica da população interiorana cearense, sobretudo das áreas rurais nas quais a

renda que se mostra mais baixa e necessita complemento dos programas governamentais.

Vale ressaltar que o problema socioeconômico agravado por consequências nas áreas em desertificação pode ainda se agravado pelo aumento populacional cearense nas últimas três décadas, estimado em 50%, alcançando 9,2 milhões de pessoas, segundo o último Censo do IBGE. Assim, mais pessoas necessitam de mais produção agropecuária, que por sua vez necessita de mais recursos ambientais, que sendo impactados pelos processos de mudanças climáticas e de desertificação, devem impactar e aumentar o risco socioeconômico das comunidades rurais dessas regiões.

Assim, visando diminuir tais riscos socioambientais e socioeconômicos nas comunidades rurais contidas na região semiárida faz-se necessário a articulação entre setores públicos e privados, incluindo a participação da academia em pesquisas que possam auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas de enfrentamento ao processo de desertificação nestas regiões.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No presente estudo mostrou-se a tendência de crescimento do processo de desertificação em regiões do estado do Ceará, uma tendência global das regiões áridas e semiáridas que é agravada pela variabilidade do clima e pode se ampliar como efeitos das mudanças climáticas globais.

Em adição, conclui-se que as regiões interioranas do estado, cujas 98% são classificadas como de clima semiárido, podem se inserir na classificação de Área Suscetível à Desertificação – ASD. Assim, fatores naturais como a variabilidade climática observada nas regiões semiáridas e o tipo de solo destas áreas que são classificados como rasos e arenosos, associados aos possíveis efeitos

do aquecimento global proveniente das mudanças climáticas, e o manejo inadequado dessas áreas, podem acelerar tal processo de desertificação nestas regiões.

Dessa forma, este processo de degradação ambiental se torna mais relevante por ser regiões de agricultura familiar e que são responsáveis pela segurança alimentar e econômicas das comunidades que vivem nestas regiões semiáridas.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul.

**Geomorfologia**, n. 52, p. 1-21. 1977.

ADEEL, Z. et al. **Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis**. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. World Resources Institute, Washington, DC. 2005.

AUBREVILLE, A. **Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale**. Paris: Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, 1949.

ARAÚJO FILHO, J.A. E CARVALHO, F.C. **Sistemas de produção agros silvipastoril para o semiárido nordestino** In: **SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS**: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília, DF: FAO, 2001. p.101-110.

CNUMAD: **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio-Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992.

CONTI, J. B. A. Clima e Meio ambientes. In: **Desertificação no mundo**. São Paulo:Atual Editora, 1998. p. 64-75.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242–261, jun. 2003.

DREGNE, H. Envergadura y Difusión del Proceso de Desertificación. In: Colonizacion de los territorios aridos y lucha contra la desertification: enfoque integral. Programa de Las Naciones Unidas para El Medio Ambiente (PNUMA) - Comision de La URSS de los asuntos de PNUMA. Moscou. 1987. p. 10-17.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Áreas Degradadas em Processo de Desertificação**. [S.I.]: FUNCUME, 1992.

\_\_\_\_\_. **Áreas Degradadas em Processo de Desertificação** [S.I.]: FUNCUME, 2016.

GUERRA, J.T.; JORGE, M.C.O. **Degradação dos solos no Brasil**. 1. ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. 320p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 8, p. 1-105, 2019.

IRSHAD, M.; INOUE, M.; ASHRAF, M.; DELOWER, H.K.; TSUNEKAWA, A. Land desertification - an emerging threat to environment and food security of Pakistan. **Journal of Applied Sciences**, 1199-1205p. 2007.

LEMOS, J. J. S. **Desertificação e pobreza no semiárido do nordeste. Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Minas Gerais: Editora Folha de Viçosa, p. 114-136, 2000.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade:** caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 159 P il. (Biodiversidade, 26).

MATALLO JÚNIOR, H. A Desertificação no Brasil. In: SENNA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R.C. (Edit.).

**Agricultura, sustentabilidade e o semiárido.** Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 406p.

MOUAT, D.; LANCASTER, J.; WADE, T.; WICKHAM, J.; FOX, C.; KEPNER, W.; BALL, T. Desertification Evaluated Using an Integrated Environmental Assessment Model. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 48, p. 139-156, 1997.

NEVES R.S.; MEDEIROS, J. C. A.; SILVEIRA, S. M. B.; MORAIS, C. M. M. Programa Um Milhão de Cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. **Revista Agriculturas**, v. 7, n. 3, p. 07-11, out. 2010.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The physical Science Basis.** [S.I.]: Cambridge, 18 p. 2007a.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [S.I.]: Cambridge University Press, 2021.

RASTGOO, M.; HASANFARD, A. Desertification in Agricultural Lands: Approaches to Mitigation, Deserts and Desertification. In: ZHU, Y.; LUO, Q.; LIU, Y. **Deserts and Desertification**. London: IntechOpen, 2022.

RHODES, S. L. Repensando a Desertificação: o que sabemos e o que temos aprendido? **World Development**, Grã-Bretanha, v. 19, n. 09, p. 1137-1143, 1991.

RODRIGUES, V. Desertificação: problemas e soluções. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: UFC/SBCS, 2000. p. 22-56.

RODRIGUES, V. **Desertificação: problemas e soluções**. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Ed.). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Fortaleza: UFC/SBCS, 2000. p. 22-56.

SOARES, A. M. L.; LEITE, F. R. B.; MARTINS, M. L. R. Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará. In: **Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in Semi-Arid Regions – ICID**. Fortaleza: ICID, 1992.

SOUZA, Ridelson Farias de; FERNANDES, Maria de Fátima; BARBOSA, Marx Prestes. Vulnerabilidades, semi-aridez e desertificação: cenários de riscos no cariri paraibano. **Revista OKARA: Geografia em Debate**, v. 2, n. 2, 2008.

UNITED NATION. **World Social Report 2020**: inequality in a rapidly changing world department of economic and social affairs. [S.I.]: World Social Report, 2020

UNCCD **The United Nations Convention to Combat Desertification** was established in 1994.

\_\_\_\_\_, United Nations **Convention to Combat Desertification**.

**Land degradation neutrality:** resilience at local, national and regional levels. Bonn: Unccd, 2015. 24 p. Disponível em: [http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Land\\_Degrad\\_Neutrality\\_E\\_Web.pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Land_Degrad_Neutrality_E_Web.pdf). Acesso em: 12 jul. 2023.

UNEP Staff. **Global Assessment of Soil Degradation.** [S.I.]: UNEP, UN, GLASOG Project, 1991.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **O grave problema ecológico da desertificação**, Brasília, D. F.: CNPq. 1978.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação ocorrentes no nordeste do Brasil sua gênese e sua contenção**, Brasília, D.F. Ed.M.I. SUDENE, p31, 1983.



# **ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) ASSOCIADAS AO USO DE USINAS TERMELÉTRICAS NO BRASIL**

*José Alan Kardec de Sousa*

*Alexandre Araújo Costa*

*Emerson Mariano da Silva*

## **1 INTRODUÇÃO**

As mudanças climáticas estão diretamente relacionadas a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, sobretudo o aumento do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esse aumento se intensificou a partir da Revolução Industrial com a procura por novas fontes de energia para atender a demanda da sociedade (Selby, 2014). Em decorrência desse processo o consumo de combustíveis fósseis tais como o carvão mineral e o de energia elétrica crescem de forma exponencial no mundo ao longo dos anos, impulsionados pelo crescimento econômico. Assim, o elevado consumo de energia proveniente de recursos fósseis faz com que o setor de geração de energia seja o maior contribuinte mundial para emissão dos Gases de Efeitos Estufa (GEE) para a atmosfera terrestre (Bruckner et al., 2014).

O setor elétrico brasileiro é suprido basicamente por hidrelétricas, tendo complementação de usinas termelétricas que funcionam através da queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo, tais como o gás natural e o carvão mineral. Esses equipamentos emitem elevados índices de emissões de

GEE para atmosfera, contribuído para maior retenção de calor e o agravamento do efeito estufa em nosso planeta (Selby, 2014).

O aumento esperado no consumo de energia elétrica para os próximos anos, somado a dependência das usinas termelétricas da matriz energética nacional, possivelmente observaremos o aumento da emissão dos GEE, causando mais poluição e aquecimento na atmosfera terrestre (Silva, 2018).

Neste contexto, este estudo apresenta uma contextualização sobre as emissões dos GEE no Brasil e em suas regiões com destaque para os dois Estados mais emissores. Essas emissões têm forte relação com os problemas da poluição atmosférica, com o elevado consumo de água potável nas termoelétricas e com as mudanças climáticas (Tolmasquim, 2016).

Dessa forma, a motivação para o desenvolvimento deste artigo se justifica pelo fato desta temática ser extremamente relevante para uma tomada de decisão em nível internacional, ultrapassando as barreiras geográficas dos limites local e nacional, pois para melhorar a segurança dos recursos energéticos e da qualidade do ar são necessários, além da consciência, ações estratégicas e envolvimento de todos.

Nesta perspectiva, apresenta-se o seguinte questionamento: Qual o percentual das emissões de gases de efeito estufa provenientes das usinas termelétricas brasileiras na geração de eletricidade? Assim, norteado por essa questão foram delineados os objetivos desse trabalho, cujo principal é analisar as emissões de GEE no setor termelétrico brasileiro.

Os objetivos específicos são: identificar os combustíveis responsáveis pelas emissões dos GEE no Brasil e verificar a variação das emissões dos GEE no período de 2001 a 2020, analisar as variações das emissões das emissões dos GEE nos dois Estados brasileiros de maior emissão, e comparar o aumento das emissões dos GEE com a presença de termelétricas.

## 2 EMISSÕES DE GEE E AS TERMOELÉTRICAS NO BRASIL

A atmosfera do planeta Terra é composta em sua maior parte de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), com a presença de vapor de água e outros gases em valores menores, como o monóxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), neônio (Ne), óxido de nitrogênio, metano ( $\text{CH}_4$ ), criptônio (Kr) e ozônio ( $\text{O}_3$ ) (SELBY, 2014).

A presença de gases como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) é responsável pela manutenção da vida em no planeta através do fenômeno atmosférico natural denominado efeito estufa que é o responsável pelo balanço de energia no sistema Terra-atmosfera e que possibilita alcançar uma temperatura média com intervalo ideal para a manutenção da vida humana e dos demais seres vivos às condições adequadas (Nobre et al., 2012).

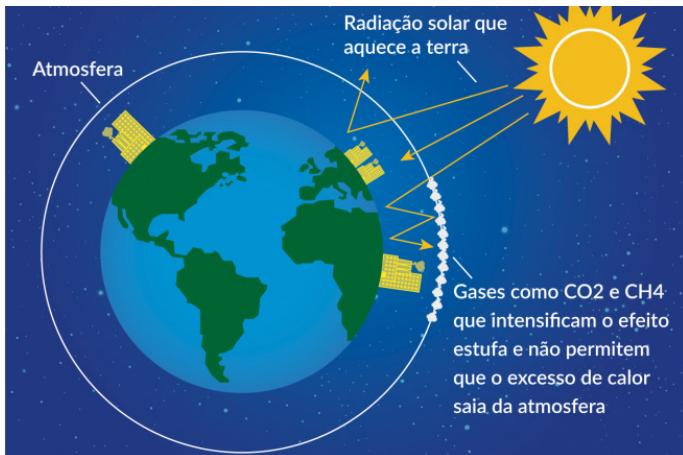
A Figura 1 mostra o mecanismo de funcionamento do efeito estufa, onde uma parte dos raios solares é absorvida e transformada em calor e outra parte é refletida pela superfície da Terra de volta para o espaço (Almeida, 2016).

A partir da Revolução Industrial no final do século 18 quando aumentou o uso de combustíveis fósseis como carvão mineral, o gás natural e os derivados de petróleo para obtenção de energia, houve um aumento na concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera em cerca de 100 partes por milhão (ppm), passando de 280 para 381 partes por milhão (ppm) em 2008 (Almeida, 2016).

Os gases  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  são provenientes de processos naturais e gerados pelas atividades humanas, sendo o dióxido de carbono mais lançado na atmosfera e com maior potencial de gerar o efeito estufa, de forma que suas emissões têm uma influência de longo prazo no clima. Cada um desses gases possui

um potencial de aquecimento global conforme podemos observar no Quadro 1.

**Figura 1** – Esquema simplificado do Efeito Estufa.



**Fonte:** Junges et al. (2018).

Apesar do CO<sub>2</sub> ser o de menor potencial energético em relação ao CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, é devido a seu maior ciclo médio de vida que contribui de forma mais danosa para a atmosfera terrestre (Nahur et al., 2015).

**Quadro 1** – Potencial de aquecimento global dos GEEs: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

| GÁS                                   | PODER CALORÍFICO (CO <sub>2</sub> e) (AR5) | CICLO VIDA MÉDIO            |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | 1  | Dezenas de milhares de anos |
| Metano (CH <sub>4</sub> )             | 21   | 12 anos                     |
| Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)      | 300  | 114 anos                    |

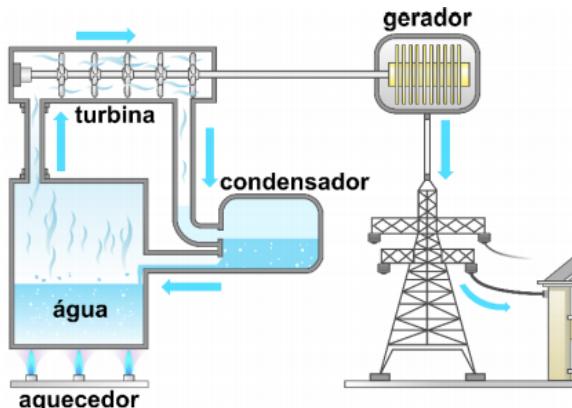
**Fonte:** Almeida (2016).

Denomina-se de potencial de aquecimento global (PAG) a medida de quanto uma dada massa de um GEE contribui para uma

mesma massa de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), cujo potencial é 1. Esse potencial define o impacto radiativo de uma unidade de massa de um dado gás. No caso do  $\text{CH}_4$  e do  $\text{NO}_2$ , apesar de existirem na atmosfera em quantidades menores, são bem mais eficientes na retenção do calor. Assim, com relação ao forçamento radioativo que é a capacidade que um determinado gás tem de causar alterações no clima, os valores são inversos, sendo o do metano 21 vezes e o do óxido nitroso 310 vezes maior do que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), colocando esse gás como o que mais colabora para as mudanças climáticas (Nahur et al., 2015; Almeida, 2016).

As usinas termelétricas (UTE), representadas na Figura 2, são instalações que produzem energia elétrica por meio da energia térmica obtida com a queima de combustíveis fósseis como petróleo, carvão mineral e gás natural, biomassa, ou também pelo processo chamado de fissão, que envolve o uso de material radioativo (Lima e Souza, 2014).

**Figura 2** – Esquema de uma usina termelétricas (UTE)



(Adaptado de BITESIZE. Thermal power stations. Disponível em [http://www.bbc.co.uk/bitesize/standard/physics/energy\\_matters/generation\\_of\\_electricity/revision/1/](http://www.bbc.co.uk/bitesize/standard/physics/energy_matters/generation_of_electricity/revision/1/). Acessado em 26/07/17.)

**Fonte:** Viscondi et. al., (2016).

Durante o tempo de concessão de uma usina termoelétrica três são os fatores que levam a ativá-la: potencial de chuvas (pois demanda por termoelétricas diminui com as hidroelétricas abastecidas e a disposição), o crescimento da economia (que desabastece a capacidade de energia gerada pelas hidrelétricas além de elevar a procura de termoelétricas) e o quantitativo de termelétricas à disposição (pois a chance de ser colocada em operação tem relação com o seu custo. Assim, o uso destas termoelétricas tem relação com a falta de planejamento energético ocorrido entre os anos 2000 e 2001 que obrigou a população brasileira a uma redução de 20% no consumo de energia, sendo seu uso uma forma de compensação ao período de falta de chuvas, provocando a deficiência das hidroelétricas do país, fora a demora em serem construídas (Martits et al., 2012).

Segundo Viscondi et al. (2016) “o Brasil possui grande dependência da matriz hidrotérmica para geração de eletricidade, desta forma, as usinas hidroelétricas e termoelétricas são responsáveis pela maior parte do suprimento de eletricidade nacional”. Tal a dependência brasileira dessas duas fontes de energia resulta da escassez hídrica nos reservatórios de água de usinas hidrelétricas direcionadas a geração de energia elétrica, bem como de baixos investimentos na geração de energias renováveis (Tilio Neto, 2010).

Outras consequências no uso de termoelétricas, além do aumento da emissão de GEE na atmosfera é a intensificação dos conflitos em torno do uso da água. Nesse último caso, o problema pode se vislumbrar diretamente na produção de energia elétrica em virtude da recorrência de escassez e indisponibilidade de água para o funcionamento das próprias usinas, além de conflitar com outras atividades econômicas (Cunha et al., 2018).

## **2.1 Termelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB).**

Em 2001 foi implementado um racionamento com o objetivo de economizar 20% de eletricidade em virtude da insuficiência hídrica de satisfazer a demanda por energia. O incentivo para a geração térmica de fontes não renováveis foi utilizado como forma de complementar o sistema de fornecimento de energia elétrica. Assim, o Brasil passou a aumentar de forma gradativa a instalação e utilização de termelétricas, especialmente as movidas a gás natural, tornando-as relevantes para a matriz elétrica brasileira, alimentadas principalmente pelo gás proveniente da Bolívia. A transição da matriz elétrica de um modelo predominantemente hídrico para um hidrotérmico guarda direta relação com a gradual exaustão dos potenciais hídricos e com a dificuldade em viabilização de hidrelétricas com reservatórios, em virtude de entraves do ponto de vista ambiental (Leite, 2011).

A partir do ano de 2010 a energia elétrica decorrente de usinas termelétricas passa receber maior incentivo, levando o setor no ano de 2015 a ser a segunda maior fonte na geração de eletricidade no Brasil. Concomitante a tal aumento ocorreu também a elevação das emissões de GEE pelo setor de geração de energia elétrica a partir do uso de combustíveis fósseis usados nas usinas termelétricas, culminando em aumentou em 121% a emissão de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) por queima de combustíveis fósseis utilizados em usinas termelétricas em 2020 (EPE, 2022).

A insegurança energética em razão do aumento do número de reservatórios sem regularização, chamados de hidrelétricas a “fio d’água” (aqueles que não dispõem de reservatório de água, ou o têm em dimensões menores do que poderiam ter), e das fontes renováveis como a solar e a eólica, chamadas de intermitentes ou não controláveis, tem contribuído para colocar as termelétricas

em papel de garantidor ao atendimento da demanda de energia (Ferraz, 2018).

Segundo o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE):

“A produção elétrica proveniente de combustíveis fósseis ainda é uma realidade preocupante no país, tanto do ponto de vista econômico quanto do ambiental. Até novembro de 2018, o país contava com 25.361.773 KW de capacidade instalada dessas fontes e com 2.433 usinas, sendo o óleo e o gás natural as principais fontes. A produção por essa matriz se concentra na Região Sudeste e Nordeste do Brasil” (IPECE, 2018).

A necessidade de diversificação das fontes de energia que compõem a matriz elétrica brasileira para enfrentar a insegurança hídrica e ao crescimento da demanda de eletricidade têm contribuído para o crescimento do despacho de usinas termelétricas. Dessa maneira, apesar do crescimento da participação de energias renováveis não-hidro (solar e eólica) a proporção é bem menor quando comparado a da geração térmica (Pereira et al., 2017).

O crescimento e o desenvolvimento da economia dependem da capacidade energética, motivos que são levados em consideração para os investimentos em usinas termelétricas, apesar das possibilidades de degradação ambiental causadas pela geração de energia nas UTE (Santos, 2018).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Com base nas pesquisas feitas ao Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), chegou-se aos resultados e discussões a respeito dos dados obtidos,

no período de 2001 a 2020, correspondente aos 26 Estados e o Distrito Federal, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 3** – Usinas termelétricas instaladas no Brasil.



**Fonte:** ANEEL (2021).

### 3.1 Região Nordeste (NEB)

Nas últimas duas décadas a economia do NEB apresentou uma expansão de suas atividades superior àquela observada na economia brasileira, aumentando assim sua demanda por energia (Quadro 2). O PIB regional cresceu a uma média anual de 3,3%, enquanto o País obteve taxas médias de 2,9%. Neste período, a participação relativa do PIB nordestino no produto nacional passou de 13,1% para 14,2%, atingindo seu maior percentual de participação (De Santana Ribeiro et al., 2019).

Nesse contexto é perceptível a relação entre economia e a necessidade de geração de energia. Assim, analisou-se a relação quanto aos combustíveis carvão, gás e derivados de petróleo por estado no total das emissões em tCO<sub>2</sub>eq, verificando qual deles está em posição de maior emissor dentro do NEB.

Nesta região o destaque nas emissões de CO<sub>2</sub>eq para a produção de eletricidade está no uso do gás natural como combustível, com valor total de 74.303.344 tCO<sub>2</sub>eq bem superiores ao uso carvão mineral e do petróleo com emissões totais, na região de 42.485.354 tCO<sub>2</sub>eq e 45.158.207 tCO<sub>2</sub>eq, respectivamente.

**Quadro 2** – Emissões por geração de eletricidade na Região Nordeste (2001 a 2020).

| Estado              | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO <sub>2</sub> eq) |
|---------------------|-----------------------|---|
| Ceará               | Carvão                | 32.813.608<br>(Média = 1.640.680,4)                                       |
|                     | Gás Natural           | 11.237.606<br>(Média = 561.880,3)   |
|                     | Derivados de Petróleo | 3.308.727<br>(Média = 165.436,35)   |
| Maranhão            | Carvão                | 9.671.746<br>(Média = 483.578,3)  |
|                     | Gás Natural           | 25.535.306<br>(Média = 127.675,3)   |
|                     | Derivados de Petróleo | 6.048.689<br>(Média = 302.434,45)   |
| Pernambuco          | Carvão                | -   |
|                     | Gás Natural           | 16.184.829<br>(Média = 809.241,45)  |
|                     | Derivados de Petróleo | 13.029.374<br>(Média = 651.468,7)   |
| Bahia               | Carvão                | -   |
|                     | Gás Natural           | 12.322.544<br>(Média = 616.127,2)   |
|                     | Derivados de Petróleo | 11.168.900<br>(Média = 558.445)   |
| Rio Grande do Norte | Carvão                | -   |
|                     | Gás Natural           | 9.023.059<br>(Média = 451.152,95)   |
|                     | Derivados de Petróleo | 1.418.425<br>(Média = 70.921,25)  |

| Estado  | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO2eq) |
|---------|-----------------------|--|
| Paraíba | Carvão                | -  |
|         | Gás Natural           | -  |
|         | Derivados de Petróleo | 9.159.570<br>(Média = 457.978,5)                             |
| Piauí   | Carvão                | -  |
|         | Gás Natural           | -  |
|         | Derivados de Petróleo | 315.787<br>(Média = 15.789,35)                               |
| Alagoas | Carvão                | -  |
|         | Gás Natural           | -  |
|         | Derivados de Petróleo | 91.114<br>(Média = 4.555,7)                                  |
| Sergipe | Carvão                | -  |
|         | Gás Natural           | -  |
|         | Derivados de Petróleo | 17.628<br>(Média = 881,4)                                    |

**Fonte:** SEEG (2022)

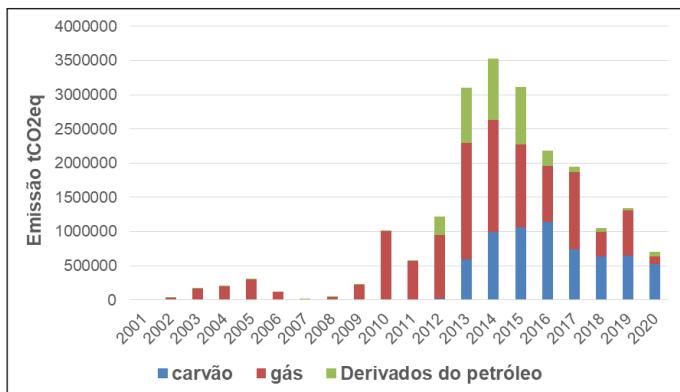
Conforme mostrado no quadro acima, os estados do Ceará e do Maranhão são os únicos com emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade provenientes dos três tipos de combustíveis fósseis, ou seja, carvão, gás e petróleo. O Ceará ficou em 19º lugar no ranking nacional em 2020 de emissão bruta de GEE, o Maranhão ocupou a 8ª posição, sendo esses dois Estados que lideram nas emissões desses gases, seguidos por Pernambuco e Bahia.

Pode-se constatar que enquanto os Estados de Pernambuco, Bahia e Rio Grande do Norte utilizam o gás e o petróleo como combustíveis principais em suas usinas, os Estados de Paraíba, Piauí, Alagoas e Sergipe têm predominância no uso de petróleo como combustível.

Observa-se na Figura 4 que o Estado do Ceará mantém o gás como sendo o combustível presente durante todo o período estudado, apresentando aumentos nos valores das emissões a

partir de 2010, porém abaixo do verificado no uso do carvão que se intensificou a partir de 2013 com a crise dos recursos hídricos que impulsionaram o uso das usinas termelétricas.

**Figura 4** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Ceará).

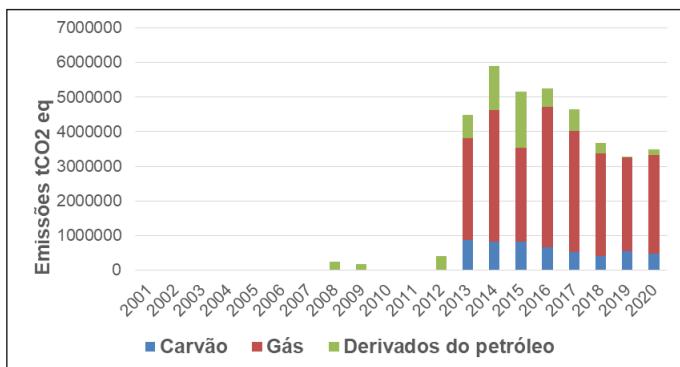


**Fonte:** SEEG (2022).

Ressalta-se o uso do carvão a partir de 2013 que passou a figurar como o principal combustível gerador das emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no estado do Ceará, com valores que ultrapassam os outros dois tipos de combustíveis e com valores superiores a todo o período estudado.

Quanto ao Estado do Maranhão, apesar do uso do petróleo em anos anteriores a 2013 como combustível, foi a partir desse ano, que esse Estado passou a utilizar fortemente o carvão e o gás natural, passando a intensificar as emissões de gases de efeito estufa em tCO<sub>2</sub>eq, com valores que se mantém alto, até o fim do período em destaque, como pode-se perceber na Figura 5.

**Figura 5** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Maranhão)



**Fonte:** SEEG (2022)

A produção de gás natural no Maranhão foi impulsionada pela abertura do setor industrial a iniciativa privada, ao ponto que durante os anos de 2012 a 2015 recebeu incentivos a exploração de novas reservas pela Petrobrás desde 2000. Em 2013 a produção de gás natural no Maranhão foi de 3,9 MMm<sup>3</sup>/dia. Em 2014, a produção aumentou de 38,6% a 39,9% na disponibilidade de gás natural para o consumo interno. Já em 2015, a redução do ritmo de exploração ao lado da taxa de decaimento dos poços implicou numa queda de 20,8% na produção em relação a 2014 (Silva, 2017).

### **3.2 Região Sudeste.**

O Sudeste é a região mais industrializada e urbanizada do país e o setor elétrico desempenha papel fundamental na sua dinâmica produtiva (Ferraz, 2018). Pode-se observar conforme os dados do Quadro 4 que essa região fica restrita ao uso de gás natural e do petróleo, como combustíveis responsáveis pelas emissões de GEE provenientes da geração de eletricidade, tendo no Estado

do Rio de Janeiro as maiores emissões, cujos valores somam 119.423.852 tCO<sub>2</sub>eq que superam e muito a soma dos demais estados dessa região, que juntos somam 44.242.402 tCO<sub>2</sub>eq.

**Quadro 4** – Emissões por geração de eletricidade no Sudeste (2001 a 2020).

| Estado         | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO <sub>2</sub> eq) |
|----------------|-----------------------|---|
| Rio de Janeiro | Carvão                | -   |
|                | Gás Natural           | 115.084.875<br>(Média = 5.754.243,75)                                     |
|                | Derivados de Petróleo | 4.338.977<br>(Média = 216.948,85)   |
| São Paulo      | Carvão                | -   |
|                | Gás Natural           | 20.575.548<br>(Média = 1.028.777,4)                                       |
|                | Derivados de Petróleo | 1.592.233<br>(Média = 79.611,65)  |
| Minas Gerais   | Carvão                | -   |
|                | Gás Natural           | 9.256.442<br>(Média = 462.822,1)  |
|                | Derivados de Petróleo | 2.725.734<br>(Média = 136.286,7)  |
| Espírito Santo | Carvão                | -   |
|                | Gás Natural           | 6.336.890<br>(Média = 316.844,5)  |
|                | Derivados de Petróleo | 3.755.555<br>(Média = 187.777,75)   |

**Fonte:** SEEG (2022)

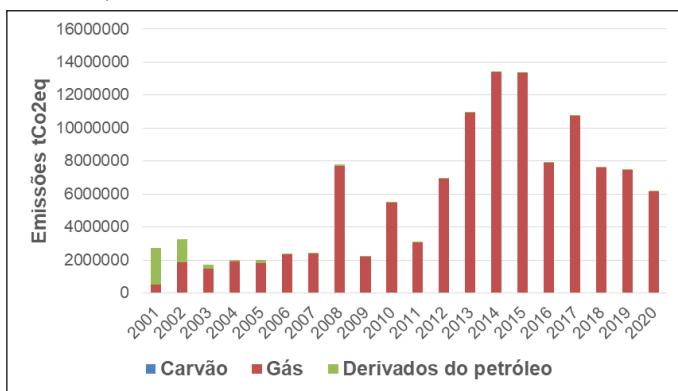
O estado do Rio de Janeiro é o maior responsável pelas emissões de GEE na região Sudeste, tendo o uso do gás natural como combustível de maior volume, que chegam a 115.084.875 tCO<sub>2</sub>eq quando comparado aos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, que juntos somam um total de 36.168.880 tCO<sub>2</sub>eq.

Na análise do gráfico da Figura 6 se observa a evolução no uso do gás natural pelo estado do Rio de Janeiro, colocando-o

como o principal emissor de GEE por geração de eletricidade na Região Sudeste (Quadro 4) em todo o período analisado de 2001 a 2020, com aumento considerável nos anos de 2014 e 2015, valores esses que diminuíram após 2015, mas sempre superiores aos anos anteriores a 2014.

A maior concentração de termoelétricas a gás se encontra na região Sudeste, onde o estado do Rio de Janeiro (Figura 6) possui a maior quantidade de termoelétricas a gás do País, sendo o maior consumidor de gás deste segmento (Santos, 2018).

**Figura 6** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Rio de Janeiro).



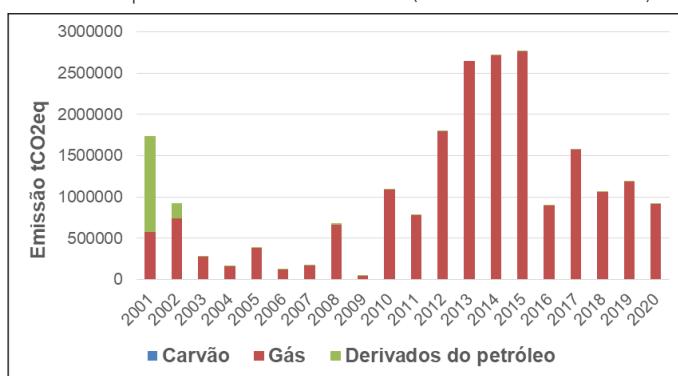
**Fonte:** SEEG (2022)

Importante destacar que o estado do Rio de Janeiro é o maior produtor de gás natural do Brasil, essa disponibilidade é um fator que favorece a utilização das térmicas a gás no estado, onde 8 a cada 10 usinas termelétricas, são operadas por meio desse combustível, com metade localizada no estado do Rio de Janeiro. Sendo a Região Sudeste a grande responsável pela maior capacidade de geração de energia com predominância das usinas termelétricas no País, tanto em número (51% do total de usinas do

País) quanto em capacidade de geração, o que justifica o grande desenvolvimento industrial e econômico dessa região, principalmente no estado de São Paulo quanto ao uso das reservas de gás natural (Santos, 2018).

Na Figura 7 se observa que o estado de São Paulo teve um aumento das emissões de GEE semelhantes com a do estado do Rio de Janeiro, no período de 2012 a 2015, declinando para os anos seguintes, porém com médias sempre superiores ao período anterior a 2012.

**Figura 7** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado de São Paulo).



**Fonte:** SEEG (2022)

O aumento das emissões pelo Estado de São Paulo no período de 2012 a 2015, visto no gráfico 05, tem relação com o início da produção de gás na Bacia de Santos com a entrada em operação do campo de Sapinhoá (Pré-sal) em 2013. Assim, a produção paulista passou a representar mais de 11% da produção nacional bruta e conseguiu atender integralmente a demanda estadual por esse combustível. Dentre as principais fontes de suprimentos de gás natural ao Estado de São Paulo estão o gás da Bolívia através do Gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL) e dos três terminais

existentes no país: Baía de Guanabara (RJ), Aratu (BA) e Pecém (CE) (Sirvinskas, 2020).

### 3.3 Região Sul.

A Região Sul, composta pelos estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, é território que, por seu contingente populacional e sua economia, tem tido proeminência no cenário brasileiro desde o início do século XX; nesse sentido, tem altas demandas por consumo de energia (Solano *et al.*, 2022).

Conforme dados do Quadro 5, analisamos a supramencionada demanda por energia elétrica, porém, não se analisou o estado de Santa Catarina, devido não apresentar emissões por usinas termelétricas em seu território. Por sua vez, os estados do Paraná e o do Rio Grande do Sul têm emissões provenientes do uso do carvão, gás natural e petróleo.

**Quadro 5 –** Emissões por geração de eletricidade na Região Sul (2001 a 2020).

| Estado            | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO <sub>2</sub> eq) |                                      |
|-------------------|-----------------------|---|--------------------------------------|
| Rio Grande do Sul | Carvão                | 73.699.448<br>(Média = 3.684.972,4)                                       | 86.352.745<br>(Média = 4.317.637,25) |
|                   | Gás Natural           | 10.980.946<br>(Média = 549.047,3)   |                                      |
|                   | Derivados de Petróleo | 1.672.351<br>(Média = 83.617,55)  |                                      |
| Paraná            | Carvão                | 2.050.825<br>(Média = 102.541,25)   | 9.229.137<br>(Média = 461.456,85)    |
|                   | Gás Natural           | 7.043.241<br>(Média = 352.162,05)   |                                      |
|                   | Derivados de Petróleo | 135.071<br>(Média = 6.753,55)   |                                      |

| Estado         | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO <sub>2</sub> eq) |
|----------------|-----------------------|---|
| Santa Catarina | Carvão                | -   |
|                | Gás Natural           | -   |
|                | Derivados de Petróleo | -   |

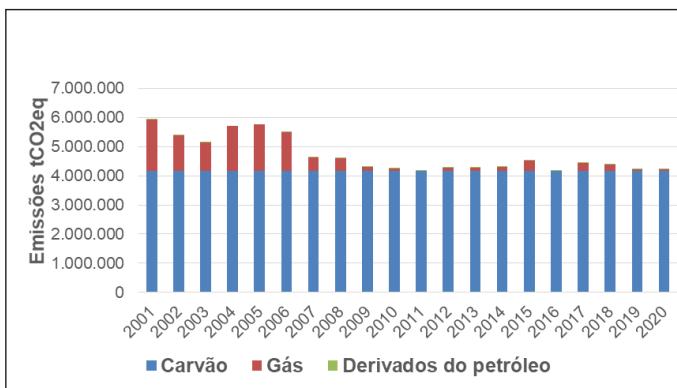
**Fonte:** SEEG (2022)

As maiores emissões foram encontradas no Estado do Rio Grande do Sul com o carvão, cujas emissões são de 73.699.448 tCO<sub>2</sub>eq por geração de eletricidade. Tais emissões são superiores à soma das emissões provenientes do carvão, gás natural e petróleo do estado do Paraná, somado ao percentual emitidos pelo gás natural e derivados de petróleo do Rio Grande do Sul, que chega a 21.882.434 tCO<sub>2</sub>eq.

A Figura 8 apresenta informações sobre o estado do Rio Grande do Sul, onde constatamos a predominância no uso do carvão em todo o período analisado de 2001 a 2020 com valores de emissões sempre em patamar elevado. Acompanhando a tendência no uso de outras regiões brasileiras analisadas, percebeu-se os anos de 2013 a 2015 como sendo os de maiores emissões de gases de efeito estufa provenientes da geração de eletricidade.

A ocorrência do carvão em solo catarinense é de aproximadamente 3,3 bilhões de toneladas e nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, concentram 28 bilhões e 104 milhões de toneladas, respectivamente. Ocorrência essa que motiva o uso constante do carvão pelo Estado do Rio Grande do Sul em UTE contribuído para as elevadas emissões por esse combustível no Estado (Zanete e Camilo, 2018).

**Figura 8** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Rio Grande do Sul).



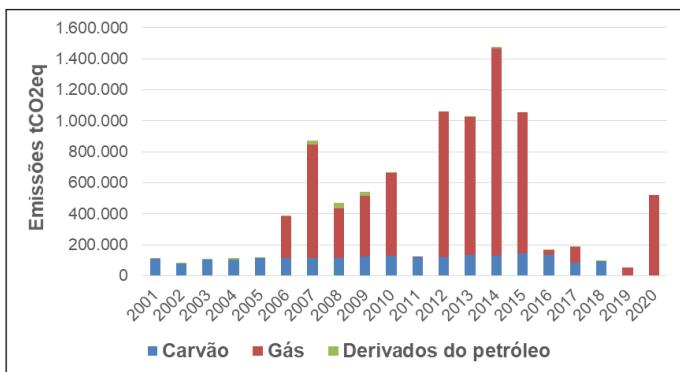
**Fonte:** SEEG (2022)

O carvão mineral encontra-se, principalmente, no sul do país e ultrapassa 32 bilhões de toneladas, estando localizados na região coberta por rochas da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina e, subsidiariamente, no Paraná e São Paulo (Zanete e Camilo, 2018).

A Bacia sedimentar do Paraná, localizada nas regiões Sudeste e Sul do Brasil tem geologia favorável à ocorrência de fontes de gás natural e apresenta potencial para exploração e aproveitamento na geração de energia em usinas termelétricas da região (Bernardes, 2016).

Diferente do Rio Grande do Sul, o Estado do Paraná, fez maior uso do gás natural devido a menor presença do carvão mineral em seu território. O Estado do Paraná manteve constante o uso do carvão mineral até 2018 e teve um aumento considerável na utilização do gás natural no período entre 2012 e 2015 com rápida queda nos anos subsequentes e retorno de crescimento em 2020 conforme dados da Figura 9.

**Figura 9** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Paraná).



**Fonte:** SEEG (2022)

### 3.4 Região Centro Oeste

O Centro-Oeste tem sido, nas últimas quatro décadas, a região que tem apresentado o melhor desempenho econômico entre as macrorregiões brasileiras, tendo sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) nacional saltado de 3,8% em 1970 para os 10% atuais. Esse processo de expansão da atividade econômica implica em maior demanda de geração de energia (Miragaya, 2014).

Nesta região, as maiores emissões de GEE por geração de eletricidade estão no Mato Grosso do Sul com 14.280.097 tCO<sub>2</sub>eq seguido de perto pelo Estado de Mato Grosso com 9.353.361 tCO<sub>2</sub>eq, únicos Estados dessa região que utilizam o gás natural como combustível, conforme o Quadro 6.

Somente as emissões provenientes do gás natural pelo Mato Grosso do Sul com emissões de 14.052.840 tCO<sub>2</sub>eq acabam sendo maiores que as soma das emissões pelos demais Estados dessa região em gás natural e petróleo além do petróleo do próprio Rio Grande do Sul que juntos chegam a 12.324.079 tCO<sub>2</sub>eq.

**Quadro 6** – Emissões por geração de eletricidade no Centro Oeste (2001 a 2020).

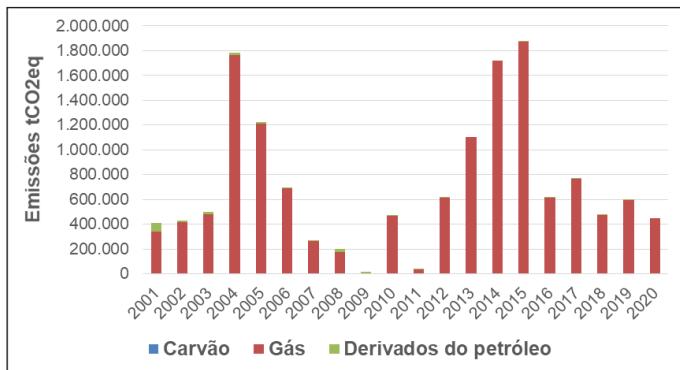
| Estado             | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO2eq) |                                    |
|--------------------|-----------------------|--|------------------------------------|
|                    |                       |  |                                    |
| Mato Grosso do Sul | Carvão                | -  | 14.280.097<br>(Média = 714.004,85) |
|                    | Gás Natural           | 14.052.840<br>(Média = 702.642)                              |                                    |
|                    | Derivados de Petróleo | 227.257<br>(Média = 11.362,85)                               |                                    |
| Mato Grosso        | Carvão                | -  | 9.353.361<br>(Média = 467.668,05)  |
|                    | Gás Natural           | 6.971.292<br>(Média = 348.564,6)                             |                                    |
|                    | Derivados de Petróleo | 2.382.069<br>(Média = 119.103,45)                            |                                    |
| Goiás              | Carvão                | -  | 2.711.161<br>(Média = 135.558,05)  |
|                    | Gás Natural           | -  |                                    |
|                    | Derivados de Petróleo | 2.711.161  |                                    |
| Distrito Federal   | Carvão                | -  | 32.300<br>(Média = 1615)           |
|                    | Gás Natural           | -  |                                    |
|                    | Derivados de Petróleo | 32.300   |                                    |

**Fonte:** SEEG (2022)

Na Figura 10 se observa que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo Estado do Mato Grosso do Sul estão sendo provenientes do uso do gás natural para geração de eletricidade em todo o período analisado de 2001 a 2020 com aumento considerável nos anos de 2004 a 2006 e de 2013 a 2015.

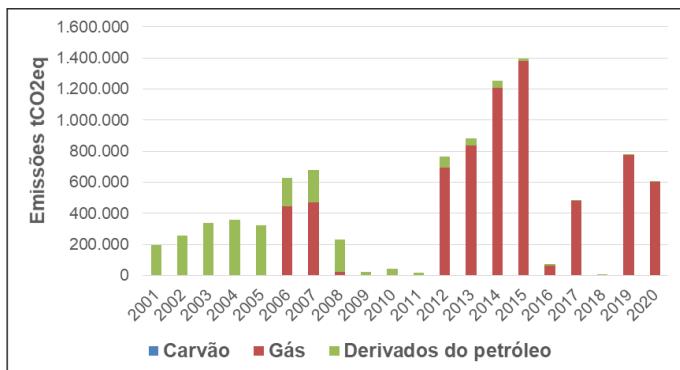
No Estado do Mato Grosso, conforme a Figura 11, fica evidente o uso do gás natural como combustível para a geração de eletricidade com aumentos mais bem significativos nos anos de 2014 e 2015, período da crise hídrica brasileira que impulsionou o funcionamento de usinas termoelétricas.

**Figura 10** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Mato Grosso do Sul).



**Fonte:** SEEG (2022)

**Figura 11** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado do Mato Grosso).



**Fonte:** SEEG (2022)

### 3.5 Região Norte

A Região Norte conseguiu nos últimos anos, manter um ritmo de crescimento importante explicitado no crescimento no Produto Interno Bruto (PIB) de mais de 50 municípios do Amazonas (Serra, 2018).

Assim, na Região Norte, o estado do Amazonas é o maior emissor de GEE por geração de eletricidade, proveniente do uso de gás natural e derivados de petróleo. Conforme o Quadro 7, o Amazonas é o único Estado da Região Norte que utiliza o gás como combustível em suas usinas termoelétricas. Este estado faz ainda, grande uso do petróleo, cujo valor de emissões chega a 59.148.259 tCO<sub>2</sub>eq, volume superior à soma das emissões de GEE, provenientes do uso do petróleo nas demais regiões, que juntas somam 37.865.694 tCO<sub>2</sub>eq.

**Quadro 7** - Emissões por geração de eletricidade na Região Norte (2001 a 2020).

| Estado   | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO <sub>2</sub> eq) |
|----------|-----------------------|---|
| Amazonas | Carvão                | -   |
|          | Gás Natural           | 17.744.695<br>(Média = 887.234,75)  |
|          | Derivados de Petróleo | 59.148.259<br>(Média = 2.957.412,95)                                      |
| Rondônia | Carvão                | -   |
|          | Gás Natural           | -   |
|          | Derivados de Petróleo | 11.494.866  |
| Amapá    | Carvão                | -   |
|          | Gás Natural           | -   |
|          | Derivados de Petróleo | 9.155.753   |
| Pará     | Carvão                | -   |
|          | Gás Natural           | -   |
|          | Derivados de Petróleo | 6.624.311   |
| Acre     | Carvão                | -   |
|          | Gás Natural           | -   |
|          | Derivados de Petróleo | 6.262.758<br>(Média = 313.137,9)  |

| Estado    | Tipo de Combustível   | Total de Emissões com as Médias nos Últimos 20 Anos (tCO2eq) |
|-----------|-----------------------|--|
| Roraima   | Carvão                | -  |
|           | Gás Natural           | -  |
|           | Derivados de Petróleo | 4.309.039<br>(Média = 215.451,95)                            |
| Tocantins | Carvão                | -  |
|           | Gás Natural           | -  |
|           | Derivados de Petróleo | 18.967<br>(Média = 948,35)                                   |

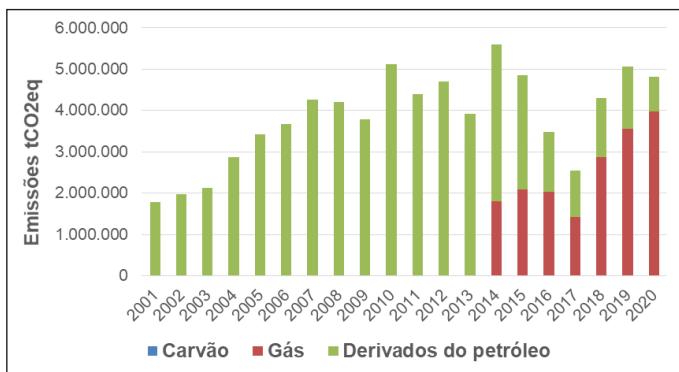
**Fonte:** SEEG (2022)

Outro destaque na Região Norte está no uso do petróleo como combustível único na maioria dos seus Estados, evidenciando a dependência a essa fonte fóssil e a responsabilidade desses mesmos estados quanto as emissões de GEE para a geração de eletricidade provenientes desse combustível.

A Figura 12 mostra o quanto o Estado do Amazonas tem utilizado o petróleo como combustível principal em suas usinas, fato observado durante o período estudado de 2001 a 2020 com a forte e crescente entrada do gás natural a partir do ano de 2014 quando da crise hídrica passando a contribuir para as fortes emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade da Região Norte.

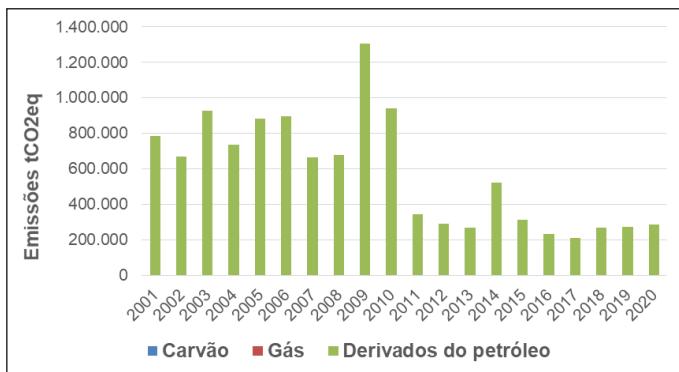
Por sua vez, o Estado de Rondônia manteve durante todo o período de 2001 a 2020 o uso de petróleo como combustível principal e responsável das emissões de GEE por geração de eletricidade conforme a Figura 13.

**Figura 12** – Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2022 (Estado do Amazonas).



**Fonte:** SEEG (2022)

**Figura 13** - Emissões de gases de efeito estufa por geração de eletricidade no período de 2001 a 2020 (Estado de Rondônia)



**Fonte:** SEEG (2022)

A crescente necessidade de uso da energia elétrica em Rondônia fez com fossem intensificadas as buscas por outras fontes de produção de energia elétrica que se complementa a geração hidrelétrica (Santos, 2018). O crescimento dos setores de petróleo e derivados concomitantemente com um o aumento de consumo nessa região levou o estado ao uso de petróleo como

combustível principal em termelétricas destinadas a geração de energia elétrica, tendo o estado de Rondônia emitido 125.777.874 CO<sub>2</sub>e t, sendo o quinto maior emissor de GEE no Brasil no ano de 2020 (Seeg, 2021).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O debate sobre os efeitos climáticos a partir das emissões de GEE permite uma síntese capaz de compreender as necessidades humanas e ecossistêmicas. Todavia, devem-se reconhecer os benefícios que o efeito estufa tem para a sobrevivência do homem, independentemente de sua origem natural ou antrópica.

O maior consumo de energia, principalmente proveniente do uso de termoelétricas, tem provocado grandes mudanças climáticas em virtude do uso de combustíveis fósseis como o carvão, os derivados de petróleo e o gás natural (Cunha *et al.*, 2018). Decorrente desse uso, está à poluição atmosférica e a forte demanda de recursos hídricos que esses empreendimentos necessitam para o seu resfriamento, principalmente em regiões que apresentam níveis hídricos críticos.

Pensar em um mundo menos vulnerável ao aquecimento global, requer necessariamente uma mudança nos hábitos de produção e consumo. Consequentemente, torna-se imprescindível a adoção de novas práticas de geração, transmissão e uso de energia, seja pelo uso de equipamentos mais eficientes ou ainda pela opção do uso de fontes renováveis de energia, buscando evitar o uso das usinas termoelétricas que além de serem altamente poluentes são mais onerosas aos cofres públicos.

No Brasil, apesar do predomínio hídrico, se dá em função das hidroelétricas que vem mostrando projeções de quedas em seu uso, o que colabora para um maior crescimento no uso de fontes

termoelétricas, escalonando nosso sistema a geração elétrica do tipo hidrotérmica.

A projeção das emissões de GEE, demonstrou que a matriz elétrica brasileira tem tendências de elevar suas emissões de CO<sub>2</sub>, e manter sua dependência de acionamento de termoelétricas de forma complementar às hidroelétricas para o suprimento da demanda energética.

Com base nas pesquisas realizadas no SEEG pelo período de 2001 a 2020, podemos constatar a evolução quanto ao uso de combustíveis fósseis por meio da produção de eletricidade através das usinas termelétricas acarretando uma maior emissão de GEE na atmosfera.

A evolução dessas emissões a partir de 2001 quando da escassez hídrica, impactou na rede hidroelétrica acabando fortalecendo o sistema hidrotérmico pela maior presença das termoelétricas como garantidor do fornecimento de energia devido à insegurança energética.

Espera-se que a partir da identificação da evolução das emissões de GEE por Estado do Brasil e de acordo com o tipo de combustível no período analisado (2001 a 2020), sirvam como apporte para a opção por fontes renováveis e diversificação da matriz elétrica brasileira que culminem na mitigação e redução significativa nas emissões de GEE.

Portanto, com a finalidade de facilitar o acesso a informações para futuros estudos, relacionadas ao uso de energia proveniente de usinas termelétricas e suas implicações no clima, quanto ao uso de combustíveis fósseis, considera-se que pesquisas a respeito dessas emissões por município, necessitariam ser feitas para aprofundar a discussão sobre o tema.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, H.A. **Climatologia aplicada à Geografia.** Campina Grande, PB: UEPB, 2016.

Agência Nacional de Energia Elétrica. Usinas termelétricas instaladas no Brasil. Brasília, DF: ANEEL, 2021.

BRUCKNER, Thomas et al. Energy systems climate change 2014: Mitigation of climate change. contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change ed or edenhofer et al. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,** 2014.

BERNARDES, J. Bacia sedimentar do Paraná tem potencial para exploração de gás natural não-convencional. Publicado em Jornal da USP em 09/05/2016.

CUNHA, K.B.; SOARES, M.; SILVA, A.F. **A termeletricidade no novo contexto do setor elétrico:** a importância da avaliação de impactos ambientais. São Paulo: IEMA, 2018.

DE SANTANA RIBEIRO, L.C.; PEROBELL, F.S.; DOMINGUES, E.P. Disparidades Intrarregionais na Região Nordeste do Brasil. **Análise Econômica**, v. 37, n. 73, 2019.

DIÓGENES, J.L.S. Ceará Sustentável: uma análise da formulação da política ambiental cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16675-16686, 2020.

FERRAZ, V.C. **Termelétricas uma visão geral:** combustíveis, ciclos térmicos, arranjos, eficiência. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Tecnológico Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **O setor elétrico brasileiro no contexto das mudanças climáticas e do Acordo de Paris.** 17 ed. Rio de Janeiro: ABDIB, 2017.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará. **Panorama da produção de energia elétrica no Estado do Ceará:** um enfoque para a matriz eólica. Informe nº 141. Ceará. 2018.

JUNGES, A.L. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151,** 2018.

LEITE, A.D. Considerações sobre energia elétrica no Brasil. GESEL – Grupo de Estudo do Setor Elétrico. UFRJ. TDSE – Textos de discussão do setor elétrico nº 30. Rio de Janeiro. 2011.

LIMA, M.T.S.L.; SOUZA, M.C. Discorrendo sobre o uso das termelétricas no Brasil. Ciência 'natura 35 anos. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas–UFSM**, Teófilo Otoni, MG, v.37, n. esp., p.17-23, 2014.

MARTITS, L.A.; GARCIA, F.G.; AMARAL JÚNIOR, J.B.C. **Concessões de termelétricas no Brasil:** Investir ou não? **Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração**, São Paulo, v.7, n.2 jul./dez. 2012.

MIRAGAYA, J.F.G. **O desempenho da economia na Região Centro-Oeste**. 2014.

NOBRE, A.C.; REID, J.V., Ana Paula Soares. Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas. **Rede Clima\INPE**. 44 p. São José dos Campos, SP, 2012.

NAHUR, A.C.; GUIDO, F.L.; SANTOS, J.A.G. As mudanças climáticas: **risco e oportunidades**. Santa Catarina: Água Brasil, 2015.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **O que é ons?** [S.I.]: ONS, 2020. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 05 jun. 2020.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE. 2017.

SANTOS, C.T.O. **Uso do gás natural em usinas termelétricas no Brasil**. Conepetro. Rio de Janeiro. 2018

SILVA, L.R.J.R.; SHAYANI, R.A.; DE OLIVEIRA, M.A.G. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**. 2018.

SERRA, K.K.T. A região nordeste do Brasil: uma análise da governança do fundo constitucional de financiamento do Nordeste (FNE) a partir das instituições relacionadas à política nacional de desenvolvimento regional (PNDR). 2018.

SOLANO, F.P. A relação entre os ciclos econômicos e a distribuição funcional da renda nas grandes regiões do Brasil: 2004-2018. 2022.

SELBY, D. **Mudança climática na sala de aula**: curso da UNESCO para professores secundários (fundamental II e ensino médio) sobre educação em mudança climática e desenvolvimento sustentável (EMCDS). Brasília: Unesco, 2014. 374p.

SILVA, D.F.A. Transição energética e exploração de gás natural no Maranhão: possibilidades e limites a partir de 2013. Dissertação (Desenvolvimento Socioeconômico) - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Maranhão, 2017.

SIRVINSKAS, L.P. **Manual de direito ambiental**. 18 ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2020.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Entenda as Estimativas** (2021). Disponível em: <http://seeg.eco.br/entenda-asestimativas>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Entenda as Estimativas** (2022). Disponível em: <http://seeg.eco.br/entenda-asestimativas>. Acesso em: 18 de jul. de 2022.

TILIO NETO, P. **Ecopolítica das mudanças climáticas**: o IPCC e o ecologismo dos pobres. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010. 155p.

TOLMASQUIM, M.T. (Coord.). **Energia termelétrica**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VISCONDI, G.Freitas. **O uso de água em usinas termelétricas**. São Paulo: IEMA, 2016.

VISCONDI, G.F.; SILVA, A.F.; CUNHA, K.B. **Geração Termelétrica e emissões atmosféricas:** poluentes e sistemas de controle. São Paulo: IEMA, 2016.

ZANETTE, E.N.; CAMILO, S.P.O. **Uma análise histórica da exploração do carvão mineral no sul De Santa Catarina:** do desenvolvimento socioeconômico a Recuperação ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC. Santa Catarina. 2018.

# O DESAFIO DE 1,5 °C E OS CENÁRIOS GLOBAIS PARA EVITAR O CAOS CLIMÁTICO

*Jesus Vinícius Moreira Holanda*

*Alexandre Araújo Costa*

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são resultantes do acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, nos quais se destacam o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), cujo aumento de concentração nas taxas atuais configura um problema sem precedentes para a humanidade. Esse acúmulo constante de gases resultou em uma maior absorção pela atmosfera da radiação solar e da radiação infravermelha emitida pela Terra, e assim causa o aumento da temperatura do ar média global da superfície terrestre (Nobre, 2011).

Fatores naturais e antrópicos podem contribuir para essa situação, incluindo as atividades vulcânicas, alterações na composição físico-química da atmosfera por fatores biológicos ou geológicos e tectonismo, queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, motores, indústrias), uso e ocupação do solo, incluindo os desmatamentos e as queimadas, emissões de aerossóis etc.

Dessa forma, esses fenômenos resultam não apenas no aquecimento do planeta, mas também em mudanças no clima de algumas regiões, causando a distribuição irregular das chuvas e períodos com registros de altas temperaturas do ar, classificados como eventos extremos (Cerri e Cerri, 2007; Silva e Paula, 2009).

Assim, para organizar os estudos relacionados ao clima e suas mudanças, a WMO (*World Meteorological Organization* – Organização Meteorológica Mundial) e a UNEP (*United Nations Environment Programme* – Organização das Nações Unidas para o Ambiente) fundaram em 1988 o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), que passou a divulgar relatórios sobre o tema desde 1990 (Guimarães, 2015; Jacobi et. al., 2011; Oliveira Neto e Silva, 2017).

Em adição, foi criada em 1992 durante a Rio-92 no Brasil a UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática e a Convenção do Clima, e realizadas conferências – Conferência das Partes (*Conference Of Parties* – COP) – para reuniões e acordos sobre a temática.

Entre esses acordos, um dos mais recentes é o Acordo de Paris que significou um compromisso mundial sobre as alterações climáticas. Definiu-se como limite admissível para o aquecimento global até o fim do século XXI um número “bem inferior a 2,0 °C”, de preferência inferior a 1,5 °C. Esse acordo foi assinado por 195 países no ano de 2015. No contexto dos quatro cenários apresentados no IPCC, somente um atende esse limite o denominado de RCP 2.6, classificado como o cenário mais otimista.

Dois desses cenários (RCP 4.5 e RCP 6.0) levariam a uma estabilidade do forçamento radiativo da atmosfera, com a estabilização até o ano de 2100, em decorrência da redução da emissão dos gases de efeito estufa. O cenário RCP 8.5, mais conhecido como cenário pessimista, representa o aumento da radiação em quatro vezes, ocasionado pelo aumento constante das emissões dos GEE (Costa, 2018).

O relatório “Aquecimento Global de 1,5 °C” do IPCC divulgado em 2018 reafirma a importância de controlar o aquecimento

da Terra em até 1,5 °C em relação aos níveis da era pré-industrial, assim, indicou que a possibilidade de não ultrapassar os 1,5 °C não irá se efetivar se não houver um profundo sequestro de carbono da atmosfera terrestre.

Além disso, este relatório demonstrou que é necessário reduzir de imediato a queima de combustíveis fósseis, que nos últimos anos aumentaram tornando escassas as alternativas para este cenário. Reafirma-se também que modificar os hábitos de produção alimentares e de consumo são alternativas que podem contribuir para reduzir o aquecimento da Terra.

A agricultura sustentável auxiliaria a reduzir o aquecimento global, retirando o carbono da atmosfera e fixando-o no solo. Porém, essa iniciativa está se tornando inviável, pois a capacidade dos solos de executar essa função está sendo reduzida à medida que a temperatura da superfície está aumentando (IPCC, 2019).

Dessa forma, é de suma importância que haja estudos relacionados aos impactos do aquecimento global no mundo, bem como alternativas para reduzi-los, visto que interferem na qualidade de vida da população, reduzem a biodiversidade, entre outros. E que sejam utilizados por governantes com o objetivo de definir políticas públicas ambientais que auxiliem na tomada de decisões relacionadas à problemática das mudanças climáticas e seus impactos (IPCC, 2019).

Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho é avaliar como os cenários globais podem impactar no desafio de 1,5 °C em relação ao aumento da temperatura do ar e da superfície do globo. Assim, utilizando a calculadora global para explorar rotas do limite do aquecimento a 1,5 °C, buscando compreender as dimensões das consequências do aquecimento global, de forma a buscar a associação de eventos climáticos extremos com aumento da temperatura mundial e propor ações de mitigação e redução de emissões dos gases de efeito estufa por ação antrópica.

## **2 METODOLOGIA**

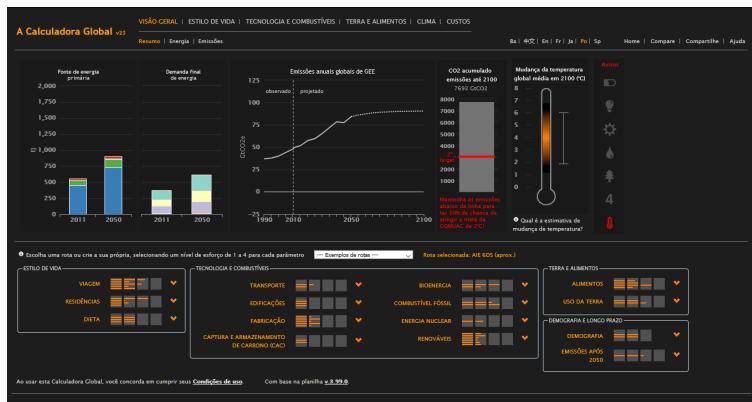
Neste estudo usou-se a Calculadora Global que é uma ferramenta com interface *online* que faz projeções da energia mundial para os sistemas alimentares e fundiários até o ano de 2050. Além disso, é uma ferramenta adequada e capaz de apontar para caminhos diferentes que levem a um aumento de temperatura entorno de 1,5°C até 2050, permitindo auxiliar na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

O usuário da calculadora pode visualizar possíveis situações que possam auxiliar na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e verificar como essas opções se relacionam. Assim, é possível observar que todos podem ter um apropriado estilo de vida, ao mesmo tempo que mitigam as consequências das mudanças climáticas (Calculadora Global, 2025).

A Figura 1 apresenta o layout da calculadora na qual pode-se observar que permite ao seu usuário avaliar as emissões de CO<sub>2</sub> de diferentes setores – agricultura, produção de energia, transportes, entre outros – em escala global. A simulação a partir de diversos modelos apresenta os cenários correspondentes para o ano de 2050, possibilitando que se visualizem os impactos das emissões no mundo.

A calculadora funciona com a utilização de uma série de alavancas que são as mudanças que a humanidade poderia realizar para diminuir os efeitos das mudanças climáticas. São ao todo 14 “alavancadas agrupadas” que correspondem às atividades em diferentes setores. Além disso, a Calculadora Global possui quarenta parâmetros relacionados às emissões globais dos GEE, englobando as escolhas que envolvem estilo de vida, tecnologia e combustíveis, terra e alimentos e demografia.

**Figura 1** – Layout Calculadora Global.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

Os usuários da calculadora podem utilizar os níveis de 1 a 4 para cada parâmetro escolhido (Calculadora Global, 2013). A Figura 2 apresenta os níveis da calculadora, na qual quanto maior o nível de mitigação maior o esforço da redução das emissões.

**Figura 2** – Níveis da Calculadora Global.

Os níveis de 1 a 4 representam uma síntese das variações que especialistas acreditam serem possíveis até 2050.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

Os cenários principais da calculadora, elaborados pela equipe responsável pela própria plataforma são:

- Esforço distribuído: O esforço para descarbonização é realizado de forma equilibrada em todos os setores;
- Relutância do consumidor: Os consumidores relutam em utilizar novas tecnologias que tenham uma relação direta com o dia a dia;
- Poucas iniciativas nas florestas: demonstra que a proteção das reservas florestais é de suma importância para atingir a meta;
- Ativismo do consumidor: Nessa rota os consumidores praticam mudanças nas tecnologias que utilizam e no estilo de vida.

Além desses cenários, a calculadora incorpora também cenários produzidos pelo IPCC (os RCPs), pela Agência Internacional de Energia (AIE), ONGs (como a “Amigos da Terra”) e até corporações, como a Shell. O Quadro 1 apresenta todos os cenários que a calculadora possui.

**Quadro 1** – Cenários da Calculadora Global.

| Cenários                 | Descrição  |
|--------------------------|--|
| Esfoco Distribuído       | O esforço para descarbonizar é distribuído de maneira bastante uniforme por todos os setores. Principalmente, o nível 2.8 em todas as alavancas de tecnologia e combustível, e terra e alimentos.  |
| Relutância do consumidor | Os consumidores relutam em aceitar novas tecnologias que tenham um impacto imediato sobre eles. Como por exemplo: transporte: (baixa aceitação de veículos elétricos e a hidrogênio), edifícios (utilização relativamente baixa de tecnologias de isolamento e aquecimento de baixo carbono nas residências), eletricidade (menor utilização do vento do que algumas das outras vias de 2,0 °C), resíduos (coleta relativamente baixa de resíduos pelas famílias). |

| <b>Cenários</b>                  | <b>Descrição</b>  |
|----------------------------------|---|
| Poucas iniciativas nas florestas | Não existem medidas suficientes para expandir as florestas. Além disso, mostra que proteger e expandir área de floresta desempenha um papel crítico para cumprir as metas globais.  |
| Ativismo civil                   | A população mundial está preocupada com as tecnologias que podem ocasionar risco de ter efeitos colaterais adversos não intencionais sobre o ambiente natural (por exemplo, energia nuclear ou plantações geneticamente modificadas). Dessa forma, adotam ativamente as mudanças nas tecnologias que usam e nos aspectos de seu estilo de vida para assegurar as metas globais.   |
| AIE 6DS (approx..)               | Foi desenvolvido pela Agência Internacional de Energia (AIE). No qual representa o cenário 6 °C é em sua maioria uma continuação das tendências atuais. No qual no ano de 2050, o uso de energia praticamente dobra (em relação ao ano de 2009) e o aumento da temperatura global é estipulado em pelo menos 6°C.   |
| AIE 4DS (approx..)               | Esse cenário considera os acordos mundiais para reduzir as emissões e fortalecer os esforços para melhorar a eficiência energética. Assim, o aumento da temperatura global é estipulado em 4,0 °C, para que isso ocorra requer mudanças significativas nas tecnologias e políticas.   |
| AIE 2DS (approx..)               | Limitar o aumento médio da temperatura em 2° C. Estabelece a meta de limitar as emissões de CO <sub>2</sub> referentes à energia em mais da metade do ano de 2050 e garantir que continue diminuindo. Também, esse cenário ressalta que modificar o setor de energia é essencial, mas não é a única opção. Sendo assim, a meta apenas será alcançada se as emissões de GEE e CO <sub>2</sub> em setores energéticos também forem diminuídas.  |
| Shell – Montanhas (approx..)     | Os cenários da Shell são futuros alternativos plausíveis. Não são previsões ou resultados desejados, mas uma análise de como a tecnologia, as forças econômicas, sociais e políticas podem se desenvolver ao longo do século. Nesse cenário ocorre rigidez institucional, o que impede o desenvolvimento econômico.   |
| Shell – Oceanos (approx..)       | O cenário dos oceanos apresenta um mundo mais próspero e volátil, no qual a influência se torna mais dispersa. A demanda de energia aumenta devido ao forte crescimento econômico. O poder é mais amplamente distribuído e os governos demoram mais para chegar a um consenso nas principais decisões.  |
| Amigos da Terra                  | O cenário apresenta um mundo com menos de 1,5 °C de aquecimento global. Sendo assim, um mundo muito mais desejável e muito menos arriscado do que um mundo mais quente; particularmente para as pessoas mais pobres em todo o mundo, que sofrerão mais com o aquecimento. A Calculadora Global de Carbono mostra que, pelo menos em teoria, ainda é possível ter uma chance de 50:50 de evitar 1,5 °C. Para que isso ocorra é necessário esforços extraordinários, especialmente o gerenciamento sob demanda, mas o objetivo vale a pena. Um mundo que seja mais verde, mais saudável, mais barato, mais seguro e, necessariamente, mais igualitário. |

| Cenários               | Descrição  |
|------------------------|--|
| Mott MacDonald         | Desenvolvido por Mott MacDonald e apresenta que para sejam alcançadas as metas globais é necessário um desenvolvimento tecnológico que manterá o crescimento econômico, a escolha da sociedade e a resiliência climática. Assim, é utilizado tecnologias e combustíveis menos intensivos em carbono possuindo cadeias de abastecimento mais eficientes.  |
| Climact                | Diminui os investimentos significativamente e por consequência ocasiona custos muito mais baixos em geral, isso está obviamente relacionado a um estilo de vida maior e esforços de eficiência.  |
| ICEPT                  | O <i>Imperial College Center for Energy Policy and Technology</i> (ICEPT) é um cenário de elevada inovação e baixo teor de carbono, fundamento em um forte progresso tecnológico e políticas mais ambiciosas.  |
| RCP 8.5                | É o cenário mais elevado em termos de forçamento radiativo entre as quatro vias de concentração representativas. Inclui um percurso de séries temporais de emissões e concentrações de todo o conjunto de gases de efeito estufa e aerossóis e gases quimicamente ativos.  |
| RCP 6.0                | O cenário RCP 6.0 é uma das duas vias de estabilização intermediárias (meio mais alto) entre as quatro vias de concentração representativas, sendo a via de estabilização intermediária inferior RCP4.5.   |
| RCP 2.6                | RCP 2.6 (também referido como RCP3-PD) é o mais baixo em termos de forçamento radiativo entre as quatro vias de concentração representativas.  |
| TIAM-UCL 4DS (approx.) | Este caminho é uma representação aproximada do sistema de energia global de menor custo gerado pelo modelo de avaliação integrada TIAM-UCL. Produzindo assim uma trajetória de emissões que resulta em cerca de 40% de chance de a temperatura global média exceder 4 °C em 2100. Nenhuma política de mitigação das mudanças climáticas é aplicada. Nenhuma restrição é imposta à redução de emissões, no entanto, as emissões globais de CO <sub>2</sub> continuarão a aumentar até 2050 (e além), de forma que aumentará quase 45% até 2050.   |
| TIAM-UCL 2DS (approx.) | Para esse cenário até 2020 as reduções de emissões seguem apenas os acordos feitos no Acordo de Copenhague. Depois desse período, as emissões podem cair em qualquer taxa, mas restringem o modelo para garantir que o aumento médio da temperatura da superfície não exceda 2 °C em qualquer período, ou seja, nenhum 'excesso' de temperatura é permitido. Isso resulta na redução das emissões globais de CO <sub>2</sub> em quase 45% até 2050. Dessa forma, supõe-se que há reduções proporcionais em setores fora do setor de energia, particularmente naqueles que resultam em altos volumes de emissões não-CO <sub>2</sub> , como o setor agrícola. |
| WEC/PSI-Jazz           | Desenvolvido pelo <i>World Energy Council</i> (WEC) no qual tem como foco a igualdade de energia com prioridade para atingir o acesso individual e a acessibilidade da energia por meio do crescimento econômico.  |
| WEC/ PSI-Symphony      | O Symphony tem como foco alcançar a sustentabilidade ambiental por meio de políticas e práticas coordenadas internacionalmente.  |

| Cenários                                   | Descrição  |
|--|--|
| <i>The Vegan Society</i>                   | Esse cenário concentra-se em modificar a agricultura e as dietas com objetivo de reduzir a produção de metano e óxido nitroso. Isso é alcançado com a mudança para a agricultura agroecológica e dietas centradas nas plantas.   |
| <i>Cambridge Architectural Research</i>    | Nesse cenário apresenta uma eliminação completa do carvão para geração de eletricidade: de 60% da energia da meta de hoje para nada até 2050. E melhorias simultâneas nas eficiências de geração – em parte devido ao maior uso de turbinas a gás de ciclo combinado, em parte devido à eficiência aprimorada no carvão.   |
| <i>Chatham House – menos carne</i>         | Esse caminho descreve um futuro no qual os padrões alimentares globais mudam consideravelmente. Em outras áreas – principalmente produção de energia, uso e mudança de comportamento – pressupõe-se que os esforços para reduzir as emissões estejam de acordo com o cenário de 4 graus da IEA. Carnes monogástricas, como frango e porco, substituem amplamente as carnes de ruminantes, como carne bovina e cordeiro. Em 2050, a média global é de 90g por pessoa por dia, conforme recomendação da OMS. |
| <i>Chatham House – mais carne</i>          | Descreve um mundo no qual ações ambiciosas são tomadas em quase todos os aspectos dos estilos de vida globais, em linha com o cenário de 2°C da IEA, com exceção dos padrões alimentares. O consumo médio global de calorias e carnes sobe para os atuais níveis europeus, com um aumento significativo no consumo de carnes e, particularmente, no consumo de carnes de ruminantes, como bovinos, ovinos.   |
| <i>World Nuclear Association (Allegro)</i> | Esse cenário seleciona a capacidade máxima de geração nuclear que a Calculadora Global permite, dando uma capacidade nuclear global total em 2050 de 1870 Gwe.   |
| <i>World Nuclear Association (Largo)</i>   | Baseando-se no caso de referência do Relatório do Mercado de Combustível Global da Associação Nuclear Mundial, que pressupõe um crescimento de pouco menos de 3% na capacidade nuclear global até 2030.  |

**Fonte:** Elaborado pelo autor, baseado em informações da *Global Calculator*

Dessa forma, o presente estudo avaliará rotas que cumpram o acordo de limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C, utilizando tabelas que apresentam os cenários e as suas respetivas características.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os vários cenários analisados na plataforma da Calculadora Global, o que apresentou o caminho mais próximo

do limite de 1,5 °C foram: RCP – 2.6, AIE 2ds, Amigos da Terra, Vegan Society, ICEPT. E, dentre esses o que apresentou melhor resultado foi o cenário denominado de Amigos da Terra ( $\text{CO}_2$  acumulado de emissões até o ano de 2100 de 2210 Gt $\text{CO}_2$ ) no qual ficou classificado como nível 4 e apresenta uma redução significativa de emissão de GEE para a atmosfera terrestre.

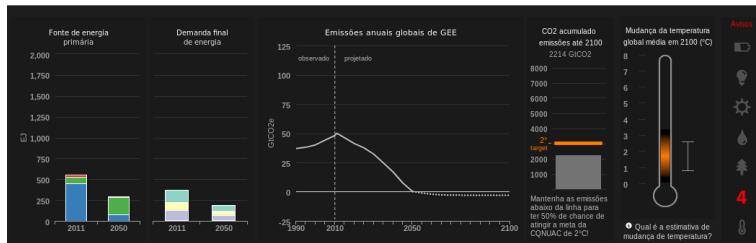
As Figuras a seguir apresentam a simulação realizada através da calculadora de como estariam os níveis anuais de GEE, estilo de vida da população no cenário amigos Terra que apresenta um mundo com menos de 1,5 °C grau de aquecimento global ou bem próximo de 2,0 °C. Sendo assim, um mundo muito menos arriscado, particularmente para os países em desenvolvimento, que sofrerão mais com o aquecimento.

A Calculadora Global mostra que, pelo menos em teoria, ainda é possível ter uma chance de 50:50 de evitar 1,5 °C. Para que isso ocorra são necessários esforços extraordinários, especialmente o gerenciamento sob demanda. Entretanto, o objetivo vale a pena, já que se querum mundo que seja mais verde, mais saudável, seguro e necessariamente igualitário.

O primeiro cenário analisado foi o cenário Amigos da Terra. A Figura 3 apresenta as emissões e o  $\text{CO}_2$  acumulado, na qual pode-se observar que as emissões iriam diminuir e  $\text{CO}_2$  acumulado (48 Gt $\text{CO}_2\text{e}$  em 2010 e 0,1 Gt $\text{CO}_2\text{e}$  em 2050), também haveria mudança na temperatura global. Além disso, a fonte de energia primaria e demanda final de energia irá reduzir até o ano de 2050. Esse é o cenário ficou mais próximo do limite de 1,5 °C.

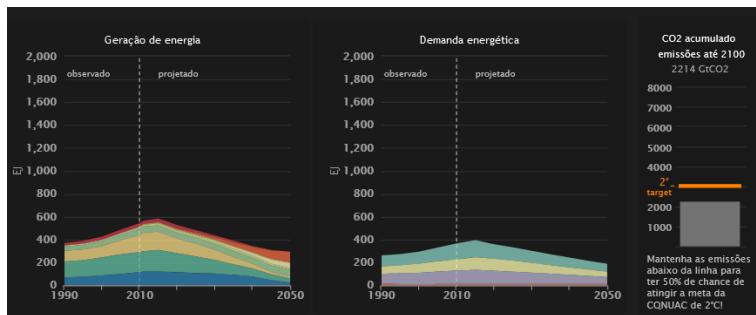
A Figura 4 mostra que a demanda energética até o ano de 2050 irá reduzir e esse fato está diretamente relacionado com a redução de emissões que, por exemplo, se houver uma menor queima de combustíveis fósseis, irá reduzir a emissão de  $\text{CO}_2$ .

**Figura 3** – Emissões de GEE- Cenário Amigos da Terra.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 4** – Energia - Cenário Amigos da Terra.



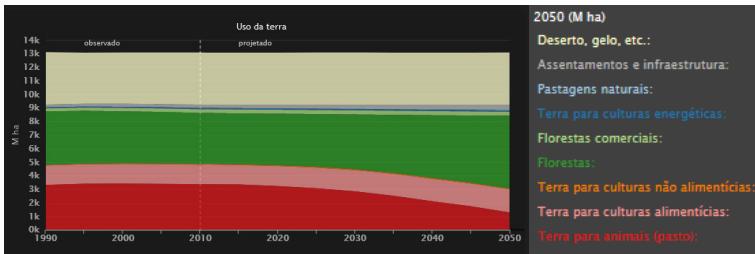
**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

A Figura 5 mostra que o uso da terra neste cenário irá reduzir e a área destinada para florestas (em verde escuro) irá aumentar até o ano de 2050. Já áreas de degelo, gelo etc. (bege), assentamentos e infraestrutura (cinza), terras para culturas energéticas (azul escuro) e florestas comerciais (verde claro), praticamente iriam se manter até o ano de 2050.

A Figura 6 mostra o dado de Produções, considerando o rendimento de um campo de futebol durante um ano, os dados em verde claro (2011) e amarelo (2050). Através dessa figura pode-se perceber que o alimento que mais está sendo produzido são as frutas e vegetais e o que menos está sendo produzido são as carnes (de vaca, de ovelha e cabra). A redução na produção e

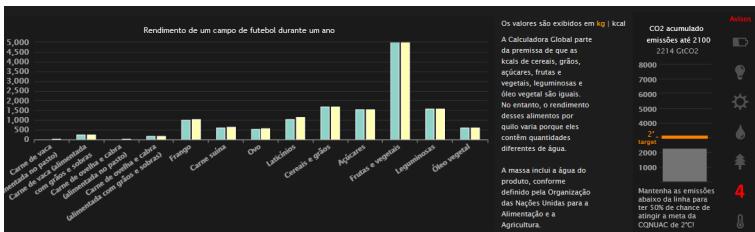
no consumo de carne ajuda os cenários a alcançarem ao objetivo de 1,5 °C.

**Figura 5 – Uso da Terra - Cenário Amigos da Terra.**



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 6 – Produções (kg) - Cenário Amigos da Terra.**



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

A Figura 7 mostra que para este cenário as emissões de GEE são menores no estilo de vida (dieta) que concentrara a alimentação em frutas e vegetais, e a Figura 8 mostra que mesmo neste cenário haverá o aumento na demanda por eletricidade, projetando o aumento significativo da produção de energia em fontes limpas e renováveis (eólica, solar e maremotriz).

No Cenário RCP 2.6 o aumento da temperatura se apresenta bem próximo do limite de 2,0 °C, com emissões anuais globais de GEE que podem diminuir (48 GtCO<sub>2</sub>e no ano de 2010 e 16.2 GtCO<sub>2</sub>e no ano de 2050) apesar da demanda final de energia aumentar até o ano de 2050.

**Figura 7** – Estilo de Vida (Dieta) - Cenário Amigos da Terra.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 8** – Eletricidade - Cenário Amigos da Terra.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

Neste cenário a demanda energética deve aumentar, o uso da terra para pastos terá redução e a área destinada para florestas deve aumentar neste período. Em adição, as áreas de degelo, gelo e etc. devem se manter até o ano de 2050. Os resultados também projetam que o alimento mais produzido serão as frutas e vegetais e o que menos produzido são as carnes de animais (vaca, ovelha e cabra).

A variável estilo de vida (dieta) evidencia que neste cenário devem emitir menos GEE para a atmosfera os países que concentraram sua alimentação em frutas e vegetais. Assim, projeta-se que a redução na produção e no consumo de carne de animais deve auxiliar os cenários a alcançarem o objetivo de 1,5 °C. Apesar do aumento da demanda por energia elétrica nestes países até 2025.

O Cenário AIE 2DS também ficaria bem próximo do limite de 2,0 °C, apresentando um pequeno aumento na demanda de energia até o ano de 2050. Neste cenário, obtém-se que não haveria

mudanças significativas no uso da terra, e que assim como nos cenários anteriores sugere-se uma dieta baseada frutas e vegetais, com cereais e grãos, ao invés de carne animal. Em adição, neste cenário também é projetado o aumento significativo da produção de energia elétrica por fontes renováveis e limpas até 2050.

No cenário Vegan Society (Sociedade Vegana) se tem a projeção da diminuição das emissões (no ano de 2010 foi 48 GtCO<sub>2</sub>e e no ano de 2050 seria 18.2 GtCO<sub>2</sub>e. reduzindo cerca de 37%), também com aumento na demanda final de energia, com redução nas áreas de terras para produção de alimentos e aumento das áreas de florestas, bem como a manutenção das áreas de degelo, gelo e etc, até o ano de 2050.

Em relação a produção, este cenário projeta uma dieta baseada em frutas e vegetais, cereais, grãos, leguminosas, com aumento na produção de lacticínios e frango e diminuição da produção de carne bovina. Neste cenário também é projetado o aumento de consumo de eletricidade produzido por fontes renováveis.

No cenário ICEPT as emissões diminuiriam (de 48 em 2010 GtCO<sub>2</sub>e para 19 GtCO<sub>2</sub>e em 2050) e os resultados são próximos e na mesma direção dos demais cenários discutidos acima. Vale ressaltar que em todos os cenários que projetam diminuição de GEE para a atmosfera se observa a projeção de aumento na demanda energética, conforme mostrado no resumo apresentado na Quadro 2.

Além desses cenários discutidos acima foi simulado um cenário de esforço muitíssimo ambicioso, considerando a redução máxima de todas as fontes de emissões de GEE, incluindo o estilo e de consumo de energia baseado nos resultados anteriores.

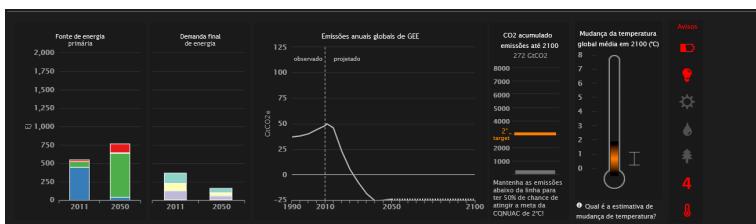
**Quadro 2** – Resultado das simulações dos cenários com a Calculadora Global.

| Cenário   | Rcp 8.5                          | Rcp 2.6                           | AIE 2DS                           | Amigos da Terra                | Vegan Society                  | ICEPT                               |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Intervalo de anom. de temp. em 2100                               | 4 - 6,5                          | 0,6 - 2,6                         | 1,1 - 3,1                         | 0,8 - 2,6                      | -0,1 - 1,9                     | 1,1 - 3,1                           |
| 50% ou mais de chance de respeitar o limite de 2,0 °C?            | 3010 GT de CO <sub>2</sub>       | 3.010 GT de CO <sub>2</sub>       | 3.010 GT de CO <sub>2</sub>       | 3010 GT de CO <sub>2</sub>     | 3010 GT de CO <sub>2</sub>     | 3010 GT de CO <sub>2</sub>          |
| 50% ou mais de chance de respeitar o limite de 1,5°C?             | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>      | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>       | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>       | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>    | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>    | 2.260 GT de CO <sub>2</sub>         |
| Emissões até 2100 (GtCO2e)  | 8.582                            | 2.766                             | 2.677                             | 2.214                          | 2.798                          | 27.68                               |
| Emissões líquidas 2050 (GtCO2e)                                   | 88,3                             | 16,2                              | 15,3                              | 0,1                            | 18,2                           | 19                                  |
| Emissões (energia + indústria) (%)                                | 82,4                             | 24                                | 12,3                              | 5,8                            | 44,3                           | 16,9                                |
| Emissões (agro + uso terra) (%)                                   | 4                                | -8,9                              | 2                                 | -6,7                           | -26,7                          | 0,7                                 |
| Emissões (resíduos) (%)   | 1,8                              | 1,1                               | 1                                 | 0,9                            | 0,5                            | 1,5                                 |
| Demanda (EJ) de energia em 2050                                   | 852,8                            | 467,3                             | 438,6                             | 186,7                          | 563,7                          | 449,6                               |
| Energia Fóssil em 2050 (EJ) (%)                                   | 984,1                            | 444,9                             | 264,6                             | 75,1                           | 563,7                          | 274,8                               |
| Energia Nuclear em 2050 (EJ) (%)                                  | 40,1                             | 35,5                              | 72,8                              | 0                              | 44,5                           | 48,9                                |
| Renováveis em 2050 (EJ) (%)                                       | 192,9                            | 201                               | 222,8                             | 195,2                          | 275,4                          | 234,2                               |
| Capacidade instalada de energia Elétrica/Solar/Maré (GW) até 2050 | 4618                             | 4529                              | 9096                              | 6563                           | 4618                           | 9096                                |
| Mudança no cons. de carne bovina (g/dia)                          | 1g = 4 kcal<br>52 kcal =<br>38 g | 1g = 4 kcal<br>152 kcal =<br>38 g | 1g = 4 kcal<br>220 kcal =<br>55 g | 1g = 4 kcal 14<br>kcal = 3,5 g | 1g = 4 kcal 14<br>kcal = 3,5 g | 1g = 4 kcal =<br>152 kcal =<br>38 g |
| (%) de veículos elétricos e a Hidrogênio em 2050                  | 2                                | 10                                | 10                                | 55                             | 2                              | 35                                  |
| (%) da área de florestas em 2050                                  | 32                               | 32                                | 48                                | 80                             | 48                             | 48                                  |
| (%) da área para infra/assentamento em 2050                       | 368/13072<br>= 2,81%             | 368/13073<br>= 2,81%              | 368/13073<br>= 2,81%              | 368/13072 =<br>2,81%           | 368/13072 =<br>2,81%           | 368/13072 =<br>2,81%                |

A Figura 9 apresenta o resumo desse cenário, na qual as emissões anuais globais de GEE diminuiriam até chegar a valores nulos. Além disso, esse cenário hipotético iria chegar ao nível 4 (Figura 10).

A partir desses resultados, para simular novos cenários com o objetivo de alcançar o 1,5 °C, foram alterados os parâmetros da calculadora global. Inicialmente, foram alterados os parâmetros do cenário RCP 2.6 até alcançar o 1,5 °C (estilo de vida, tecnologia e combustíveis, terra e alimentos), conforme demonstra as Figuras a seguir.

**Figura 9** – Simulação de Cenário muitíssimo ambicioso.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 10** – Simulação de Cenário muitíssimo ambicioso.

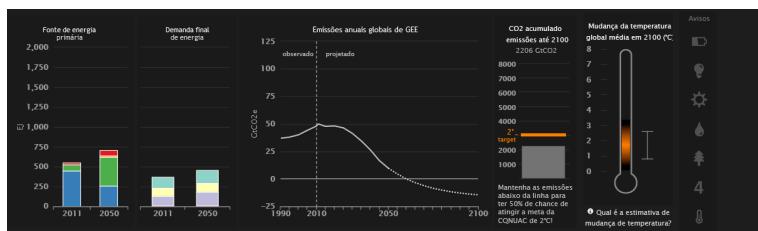


**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

A Figura 11 aponta que nesse possível cenário as emissões iriam diminuir (de 48 GtCO<sub>2</sub>e em 2010 para 16.2 GtCO<sub>2</sub>e em 2050) e com a diminuição do CO<sub>2</sub> acumulado, também provocaria mudança na temperatura global.

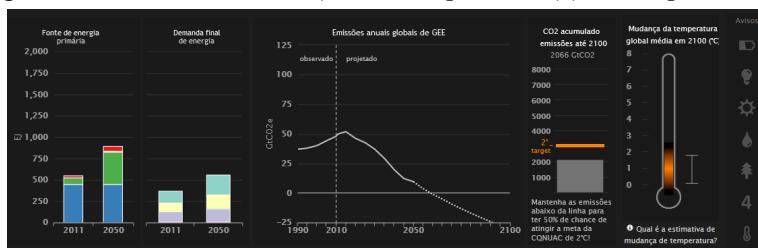
Em adição, usando-se o cenário simulado a partir do Vegan Society para atingir o 1,5 °C, as emissões também diminuiriam e até o ano de 2100, chegando a zero (Figura 12).

**Figura 11** – Emissões de GEE a partir do RCP 2.6 para atingir o 1,5 °C.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 12** – Emissões de GEE a partir de Vegan Society para atingir o 1,5 °C.

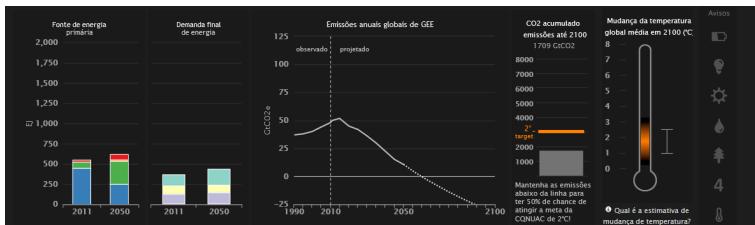


**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

Para atingir a meta de 1,5 °C no cenário simulado a partir do AIED 2DS as emissões teriam que diminuir, chegando a zerar depois do ano de 2050 e com a quantidade de CO<sub>2</sub> acumulado também haveria mudança na temperatura global (Figura 13). No Cenário simulado a partir do ICEPT para atingir o 1,5°C as

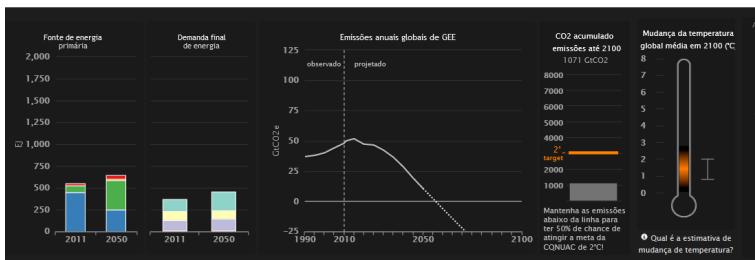
emissões iriam diminuir e chegar a zero depois do ano de 2050 (Figura 14).

**Figura 13** – Emissões de GEE a partir do AIED 2DS para atingir o 1,5 °C.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025.

**Figura 14** – Emissões de GEE a partir do cenário ICEPT para atingir o 1,5 °C.



**Fonte:** Calculadora Global, 2025

## 4 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que a calculadora global é capaz de projetar um grande número possibilidades de ações de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e alterações na matriz energética mundial. E, assim, indicar os esforços distribuídos necessários para alcançar a meta de 1,5 °C.

Também é possível concluir que os cenários de emissões mais próximos do limite de 1,5 °C foram os que consideram as menores emissões de GEE para a atmosfera (RCP - 2,6, AIE 2DS, Amigos da Terra, Vegan Society e ICEPT), sendo o cenário Amigos da Terra que apresentou menor CO<sub>2</sub> acumulado de emissões até o ano de 2100 (2210 GtCO<sub>2</sub>), classificado como de nível 4.

Além disso, os resultados mostram que através de esforços ambiciosos pode-se alcançar a meta de regulação de temperatura, para isto são necessários modificar de forma significativa o estilo de vida, do uso da tecnologia e dos combustíveis fósseis, assim como maximizar o uso da terra e o consumo dos alimentos, com a maior inserção da produção de energias renováveis na matriz energética mundial.

Neste contexto, é possível concluir que são necessárias ações de mitigação para redução de emissões dos gases de efeito estufa por ação antrópica. Como por exemplo, a adoção de manejo sustentável na agricultura, a redução das emissões por veículos à combustão, o aumento do uso de transportes públicos e bicicletas e o aumento da inserção de energias renováveis na matriz energética mundial.

Outra medida importante apontada nos resultados é a diminuição do consumo de carne de animais (bovinos) e substituição por uma dieta vegetariana ou vegana, já que a indústria da carne colabora de forma intensa com o aquecimento global, adotando dessa forma dietas mais sustentáveis.

Para o Brasil, além das medidas citadas anteriormente seria necessária a diminuição de emissões de GEE ocasionadas por desmatamento, e para a região Nordeste do Brasil, considerada como a região mais vulnerável às reduções de precipitações e elevação das temperaturas, é necessária uma ação coordenada do governo para enfrentar os efeitos das mudanças climáticas.

Dessa forma, conclui-se que a Calculadora Global possibilita que os seus usuários simulem cenários que proporcionam reflexões sobre formas de mitigação para reduzir os efeitos das mudanças climáticas, enquanto conscientiza sobre a urgência em desenvolver uma economia fundamentada em baixa emissão de carbono.

## REFERÊNCIAS

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. **Agricultura e aquecimento global.**

[http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr\\_e\\_aquec\\_Cerri\\_207.pdf](http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_207.pdf).

COSTA, A.A. **A Bioenergia com Captura de Carbono (BECCS)**

**poderá nos salvar? 2018.** <https://oquevocefariasesoubesse.blogspot.com/2018/02/a-bioenergia-com-captura-de-carbono.html>.

GLOBAL CALCULATOR TOOL. **Global Calculator.** Disponível em: <https://tool.globalcalculator.net/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

GUIMARÃES, S.O. **Projeções de mudanças climáticas sobre**

**o Nordeste dos Modelos do CMIP5 e CORDEX.** 2015. 140

f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) –

Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS

CLIMÁTICAS. **Aquecimento Global de 1,5°C.** 2018. Disponível

em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS

CLIMÁTICAS. **Special Report on Climate Change and Land**

– Summary for Policymakers. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

IPCC – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Sixth Assessment Report (AR6)**: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

JACOBI, P.R. et al. **Mudanças climáticas globais: a resposta da educação**. Revista Brasileira de Educação, Rio de Janeiro, v. 16, n. 46, p. 135-148, abr. 2011.[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141324782011000100008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141324782011000100008&lng=en&nrm=iso).

MILANEZ, A.Y. et al. **O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 45, p.285-340, mar. 2017.

NOBRE, P. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro**. In: MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande, PB: Insa-PB, 2011.

OLIVEIRA NETO, B.L.; SILVA, E.C. A organização meteorológica mundial e o seu papel na construção do regime de mudança climática. **Revista de Estudos Internacionais**, v.9, n.1, p.148-168. 2017.

STRAPASSON, A.; WOODS, J.; PÉREZ-CIRERA, V.; ELIZONDO, A.; CRUZ-CANO, D.; PESTIAUX, J.; CORNET, M.; CHATURVEDI, R. **Modelling carbon mitigation pathways by 2050**: insights from the global calculator. *Energy Strategy Reviews*, [S.I.], v. 29, p. 100494.

2020. Elsevier BV.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X2030047X>.

# **ADAPTAÇÃO ÀS VARIABILIDADES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS COM TECNOLOGIAS SOCIAIS NAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À DESERTIFICAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ**

*Ana Paula Lima dos Reis*

*Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante*

*Emerson Mariano da Silva*

*Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima*

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo o IPCC (2021) todas as regiões do planeta sofrerão mudanças no clima para os anos vindouros, mudanças tais como elevação de temperatura do ar, estações quentes alongadas, ondas de calor e menos extremos de frio. Entre 2001 e 2020 a média global de aumento da temperatura foi de 0,99 °C, maior que no período de 1850-1900. Já entre 2011 e 2020 a média de aumento da temperatura foi de 1,09 °C com os continentes aquecendo mais rapidamente que os oceanos, respectivamente, 1,59 °C e 0,88 °C.

Para o Brasil, projeções de modelos climáticos globais apresentados no Quinto Relatório de Avaliação - AR5 (IPCC, 2014a) apontaram a Região Nordeste como a região mais vulnerável socioeconómica do país. Nobre e Marengo (2017) acrescentaram que haverá menor disponibilidade hídrica que impactará na produção de alimentos e no abastecimento humano e de animais.

No Semiárido Brasileiro (SAB), principalmente nas Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD), requerem maior atenção e medidas urgentes de adaptação ao aquecimento global. Paralelamente ao cenário das áreas fortemente degradadas nessa região, há predições para o semiárido no futuro, conforme Marengo (2014) de perdas de até 90% das safras das comunidades de agricultores do SAB, em decorrência da mudança do clima global.

Mancal (2015) retrata que nas ASD's cearenses 78% das comunidades não se sentem preparadas para enfrentar os problemas das secas. Consideram como fator determinante a insuficiência das ações governamentais, e não as deficiências internas das comunidades. O mesmo estudo aborda que a ineficiência nas medidas pode agravar ainda mais os impactos negativos das secas, gerando abandono dessas áreas e consequente agravamento dos problemas sociais de uma forma generalizada.

De uma forma geral, os municípios que formam as ASDs apresentam degradação desordenada da cobertura vegetal, assoreamento de rios, barragens e alterações do regime hidrológico; pastoreio excessivo e comprometimento da capacidade produtiva dos solos e da quantidade/qualidade dos recursos hídricos (CEARÁ, 2010). Essas comunidades são predominantemente pobres e praticam suas atividades agropecuárias por meio de tecnologias rudimentares (Mancal, 2015).

Para Ventura (2013), diversas experiências e práticas vêm sendo desenvolvidas pelas comunidades rurais do nordeste brasileiro para enfrentar as dificuldades de falta de água ou de produção de alimentos. Contudo, Martins et al. (2017) afirmam que, embora muitas práticas adaptativas tenham sido aplicadas no SAB, recentemente, estas ainda não foram suficientes para evitar prejuízos no setor agropecuário, o que é um indicativo de que uma abordagem mais direcionada ao planejamento pode ser

benéfica para aumentar a capacidade adaptativa e, consequentemente, diminuir a vulnerabilidade.

A vulnerabilidade da população é ainda mais alta em áreas afetadas pela desertificação, podendo ser atenuada pela implantação de Tecnologias Sociais (TS) que emergem como alternativa de convivência com o SAB. A definição mais difundida na atualidade de Tecnologia Social (TS) é adotada pela Rede de Tecnologia Social (RTS): a Tecnologia Social (TS) compreende produtos, técnicas e/ou metodologias replicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social (RTS, 2010). De acordo com Oliveira (2014), existe uma associação positiva entre a qualidade de vida e o uso das tecnologias de armazenamento de água, ou seja, as tecnologias de captação e armazenamento de água proporcionam melhorias de qualidade de vida.

Apesar das TS oportunizarem resultados positivos, tais iniciativas ainda carecem de planejamento e implementação, bem como de alinhamento com as mudanças climáticas. As TS apresentam características e objetivos diferentes de modo que a sua implementação deve contemplar as necessidades locais. A mudança do clima é global, mas seus efeitos são locais.

Portanto, o objetivo geral desse trabalho visa propor um conjunto de tecnologias sociais de captação de água com potencial para reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas nos quatorze municípios inseridos nas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD's) no Estado do Ceará e como objetivos específicos identificar os indicadores de vulnerabilidade que apresentam tendência de agravamento da condição de vulnerabilidade dos municípios das ASDs do Ceará; sistematizar as tecnologias sociais implementadas nos municípios nas ASD's, segundo seus impactos esperados na redução da vulnerabilidade às secas e indicar tecnologias sociais

com potencial para atender às prioridades dos municípios das ASDs do Ceará quando à redução da vulnerabilidade às secas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O Estado do Ceará possui mais de 90% do seu território pertencente ao semiárido, é a unidade federada com maior inserção proporcional neste bioma. Dos 184 municípios cearenses, 175 estão incluídos oficialmente no semiárido, conforme a Resolução CONDEL/SUDENE N° 176, de 03 de janeiro de 2024, do Ministério da Integração Nacional. O Estado possui 100% do seu território em Área Suscetível à Desertificação (ASD) e apresenta um percentual de 19,06% (28.919,56 km<sup>2</sup>) da área total em terras fortemente degradadas em processo avançado de desertificação que se encontram os núcleos de desertificação no Estado (FUNCeme, 2018).

Diante do expressivo percentual a presente pesquisa adotou como recorte ou área geográfica de estudo as Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASDs) do Estado do Ceará – I – Irauçuba/Centro-Norte, que abriga os municípios de Canindé, Sobral, Irauçuba, Itapajé, Miraíma e Santa Quitéria; II – Inhamuns, que abriga os municípios de Arneiroz, Independência e Tauá; e III – Médio Jaguaribe, os municípios de Alto Santo, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe e Morada Nova distribuídas em 14 municípios.

A metodologia utilizada adotou a abordagem qualiquantitativa com coleta de dados secundários de organizações governamentais e não-governamentais. Como proxy de vulnerabilidade foram utilizados o Índice Municipal de Alerta (IMA) e seus indicadores relativo ao período 2004 a 2020.

O IMA desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE tem o objetivo de identificar os municípios mais vulneráveis decorrentes dos problemas advindos

das irregularidades climáticas. É um índice sintético que busca medir a vulnerabilidade dos municípios cearenses no que tange às questões climatológicas, agrícolas e de assistência social, constitui uma importante ferramenta de planejamento e gestão do Governo do Estado do Ceará (IPECE, 2020).

No estudo do IPECE os indicadores do IMA que tem impacto direto na vulnerabilidade são a porcentagem da área colhida com culturas de subsistência, as vagas no seguro safra por 100 habitantes rurais e a perda de safra. As variáveis climáticas são, o índice de distribuição de chuvas, o desvio normalizado das chuvas, o índice de aridez.

As variáveis climatológicas e o escoamento superficial agem inversamente proporcional a vulnerabilidade, como também proporção de famílias beneficiadas pelo Programa Bolsa Família e valor da produção agrícola por hectare e habitante. Portanto, nesta investigação o critério adotado quanto a relação de indicadores IMA e vulnerabilidade será o estabelecido pelo IPECE.

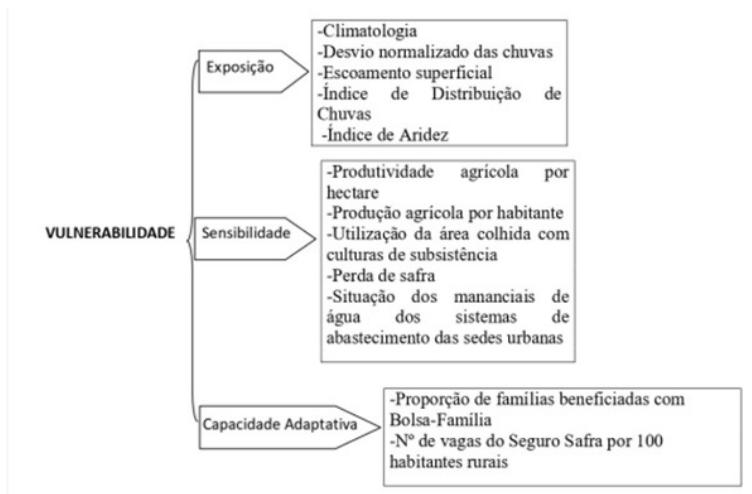
Além dos indicadores do IMA também foram utilizados três atributos (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa) para auxiliar na distribuição dos indicadores IMA, além da estrutura da vulnerabilidade usada por Adger (2006) e outros estudos (Pereira et al., 2017; Bezerra, 2017; Jurgilevich *et al.*, 2017; Sharma e Ravindranath, 2019; Zebisch et al., 2021).

De modo a promover o melhor entendimento da composição dos indicadores IMA com os três atributos de vulnerabilidade, segue a Figura 1 com a demonstração de forma sintética.

Complementarmente aos indicadores IMA foram analisados indicadores ambientais, tais sejam geologia e tipos de solos que se deteve a coleta de dados disponibilizados pelo portal eletrônico do IPECE. Os indicadores foram selecionados a partir dos seguintes critérios: pertinência quanto ao tema (condições ambientais);

disponibilidade de dados para os municípios estudados e facilidade de obtenção e confiabilidade dos dados.

**Figura 1** – Atributos x Indicadores do IMA.



Quanto aos dados relativos às tecnologias sociais implantadas nas ASD's cearenses, dada a inexistência de uma consolidação dos dados, foi a escolha do banco de dados obtidos pelo portal eletrônico Mapa de Tecnologias - ASA Brasil atualizado em 01/03/2019 e Programa Cisternas do Ministério da Cidadania cujo banco de dados foi extraído do sistema SIG cisternas atualizadas em 08/02/2021 (Sistema de Informações Gerenciais – controle e transparência do programa).

Buscou-se analisar o comportamento do IMA (vulnerabilidade) e de seus indicadores em cada município das ASDs no período 2004 a 2020 (17 anos), ou seja, como os municípios das ASD's se comportaram dentro da hierarquia do índice de vulnerabilidade do IMA (Classes Alta, Média-alta, Média-baixa e Baixa).

Após o tratamento dos dados com os resultados anuais do IMA por cada município da série estudada foi possível identificar

em quais classes de vulnerabilidade os municípios transitaram por mais tempo no período de 17 anos. O comportamento da vulnerabilidade segundo a classificação adotada no IMA nos municípios das ASDs também foi estudado a partir de taxas de crescimento estimadas por meio do modelo:

Sendo:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 T + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que,

$Y_t$  = IMA ou indicador de vulnerabilidade no período (ano) t;

$\beta_0$  = constante do modelo ou intercepto da reta estimada;

$\beta_1$  = coeficiente de inclinação;

T = período (ano);

$\varepsilon_t$  = erro aleatório.

A taxa de crescimento percentual em Y no período (2004-2020) para o IMA e 2008-2020 para os indicadores do IMA foi calculada por meio do cálculo do antilog de  $\beta_1$ , seguido da subtração de 1 e, por fim, multiplicado por 100.

Cabe esclarecer que para o estudo referente a análise do comportamento dos indicadores do IMA o período estudado foi a partir de 2008, em virtude da necessidade de se trabalhar com os dados brutos, como também pela série temporal (2008 a 2020) disponibilizada pelo IPECE.

Foram estimados modelos de regressão para o IMA e seus 12 indicadores, para cada município, totalizando 238 estimativas (17 variáveis x 14 municípios) e 182 estimativas (13 variáveis x 14 municípios), respectivamente.

Considerou-se que houve mudança significativa no IMA ou nos seus indicadores, quando o coeficiente de inclinação estimado foi significativo (valor de P < 0,05). Nessa condição foi assumida

tendência de crescimento para coeficiente positivo e tendência de decrescimento para coeficiente negativo. Coeficiente não significativo (valor de  $P \geq 0,05$ ) foi considerado indicativo de que a vulnerabilidade (ou seus indicadores) manteve-se inalterada no período analisado.

O critério adotado para a classificação dos municípios foi o comportamento da taxa de crescimento cuja intenção foi de conhecer a correlação do IMA (tendência do comportamento da vulnerabilidade) com o passar dos anos. Assim, foram definidas três classes de municípios: Municípios com tendência positiva de crescimento da vulnerabilidade, Municípios com tendência negativa de crescimento da vulnerabilidade e Municípios em que a vulnerabilidade se manteve inalterada.

A caracterização dos municípios segundo os indicadores de vulnerabilidade foi realizada considerando-se seus aspectos ambientais e os indicadores do IMA. No grupo de indicadores do IMA foram analisadas as taxas de crescimento de cada um, permitindo identificar aqueles cujo comportamento pode ser uma ameaça ao agravamento da situação de vulnerabilidade local. Nessa perspectiva foram considerados indicadores mais problemáticos aqueles cuja tendência de crescimento (ou decrescimento) pode aumentar a vulnerabilidade.

Quanto a sistematização das tecnologias sociais implementadas nos municípios nas ASD's, foi realizada após levantamento das diferentes TS de captação de água em cada município, seguido da contagem de todas elas. As TS foram organizadas em setores de acordo com os trabalhos de Fernández *et al.* (2016) e de Ventura *et al.* (2019) quais sejam: água e agricultura. O estudo se concentrou nesses setores ambientais, haja vista o entendimento de que o semiárido é caracterizado pela escassez de água e em consequência perdas agrícolas, necessitando assim de foco em estratégias de captação de água.

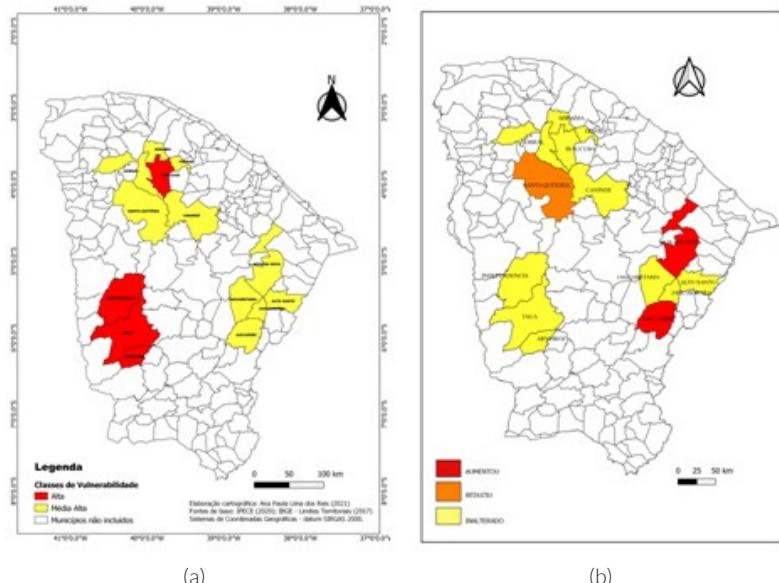
Após conhecer os indicadores potenciais de vulnerabilidade de cada município, bem como as tecnologias sociais implementadas, foi realizado um cruzamento dessas duas informações de modo a atingir os objetivos geral e específicos. A sugestão de TS com potencial para a redução da vulnerabilidade no município levou em consideração a condição local em relação aos indicadores problemáticos e, também, as técnicas, métodos e exigências utilizadas para sua implantação.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi realizada a tabulação dos dados relativos as classes de vulnerabilidades municipal e para uma melhor visualização foi gerada a espacialização das informações (Figura 2a) com o emprego de técnicas e ferramentas de geoprocessamento (software QGIS 3.1). Foi utilizada a distribuição relativa superior a 40% calculada sobre a distribuição de freqüência, ou seja, quantidade de vezes que aquele município transitou na classe.

De acordo com a Figura 2a os municípios Independência, Tauá e Arneiroz e o município de Irauçuba estiveram na classe de Alta vulnerabilidade. Cortez et al. (2017) citam a região dos Inhamuns como uma das mais vulneráveis às secas. Teixeira (2018) estudando o índice de vulnerabilidade da ASD's de Inhamuns demonstrou que o município de Independência apresentou a maior média do índice (0,562), seguido do município de Tauá (0,531) e por último Arneiroz. Os demais municípios, dentro do critério de análise, ocuparam a posição Média-alta vulnerabilidade, com percentuais acima de 60% de distribuição relativa, exceto Miraíma e Santa Quitéria que os percentuais foram menores. Medeiros et al. (2014) sugerem que é necessário dar ênfase para aqueles municípios que flutuaram nas classes de Alta e Média-alta vulnerabilidade.

**Figura 2a)** Municípios que se encontram de forma representativa nas classes Alta e Média-Alta Vulnerabilidade (2004 a 2020) e b) Municípios das ASDs cearenses, segundo a tendência de crescimento da vulnerabilidade (2004 a 2020).



**Fonte:** IMA/IPECE.

Após conhecer por meio do IMA a situação dos municípios frente à vulnerabilidade e estudar a taxa de crescimento anual desse índice para o período de 17 anos, a análise permitiu o agrupamento dos municípios em três classes: Tendência positiva de crescimento (Aumentou a vulnerabilidade), Tendência negativa de crescimento (Reduciu a vulnerabilidade) e permaneceu inalterado, conforme Figura 2b.

Observa-se na Figura 2b que a maioria dos municípios desta pesquisa se apresentaram no agrupamento de permaneceu inalterado durante a série estudada. Infere-se que dentre os municípios

enquadradados em Média-alta vulnerabilidade, dois deles Morada Nova e Jaguaribe ambos da ASD Médio Jaguaribe, foram considerados significativamente vulneráveis com uma tendência positiva de crescimento da vulnerabilidade ( $p$ -valor <0,05).

Quanto aos demais municípios com Média-alta vulnerabilidade, apenas Santa Quitéria apresentou uma tendência negativa de crescimento.

Com base nos resultados acima se houve a necessidade de averiguar quais prováveis indicadores foram responsáveis pela tendência de agravamento da condição de vulnerabilidade dos municípios das ASDs do Ceará.

No Quadro 1 consta uma síntese do comportamento dos indicadores organizados nas três dimensões da vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. São destacados os cinco indicadores que apresentaram comportamento (taxas de crescimento médio anual estatisticamente significativas - nível de significância de 5%) que contribui para o agravamento da vulnerabilidade municípios marcados com o “x”.

Observa-se que tanto nos municípios que tiveram aumento quanto diminuição da taxa de crescimento anual na variável climatologia, houve um decréscimo na política vagas no seguro safra. A exposição em decorrência dos fatores climáticos locais apresentou um crescimento significativo na maioria dos municípios das ASDs, aparecendo em 11 dos 14 municípios estudados, o que pode ser considerado uma causa do aumento da vulnerabilidade. A exceção para essa tendência foram os municípios de Santa Quitéria (onde houve queda na vulnerabilidade) e Irauçuba e Tauá (onde a vulnerabilidade permaneceu inalterada).

O indicador climatologia bem representa as variações pluviométricas por ser um indicador proveniente de um levantamento da média de precipitação dos últimos 30 anos e está diretamente relacionado com a disponibilidade hídrica da região,

e em consequência afeta de forma positiva ou negativa os demais indicadores.

Destaca-se também dentre as variáveis, o indicador vagas no seguro safra (atributo capacidade adaptativa), que também foi bem representativo, aparecendo em 10 dos 14 municípios (Quadro 1), confirmando a forte interferência desse na composição da vulnerabilidade das regiões. Observa-se, ainda uma ligação estreita entre a produção agrícola, perda de safra e seguro safra. O comportamento dos indicadores de sensibilidade também pode estar contribuindo para a intensificação/permanência da vulnerabilidade, embora seja menos frequente entre os 14 municípios.

É importante reconhecer que apesar de mais concentrados, esses indicadores merecem atenção, pois envolvem condições agrícolas as quais têm desdobramentos diretos e indiretos na vulnerabilidade, pois afetam a renda e a segurança alimentar da população rural.

Uma região como o semiárido cearense, que depende da agricultura de sequeiro para sua subsistência, tendo sido freqüentemente afetada por efeitos adversos as condições meteorológicas, como exemplo eventos de seca, resulta em baixa produção agrícola, quebra de safra e em consequência insegurança alimentar. Portanto, verifica-se, que o índice de distribuição de chuvas tem forte influência na vulnerabilidade da região.

Logo, percebe-se que a redução da precipitação aflige também outras áreas estratégicas, como a dinâmica do uso do solo (corpos d'água, atividade produtiva) cujas variáveis estão diretas ou indiretamente relacionadas com a disponibilidade de recursos hídricos. Um estudo de Bezerra (2017) evidenciou essa relação e mostrou que mesmo pouca variação das variáveis que compõem o atributo de exposição, resulta no aumento da situação de vulnerabilidade devido à elevação da exposição.

**Quadro 1** – Indicadores que sofreram mudanças significativas no sentido de agravamento da vulnerabilidade nos municípios das ASDs no Ceará. Período de 2008 a 2020.

| Anos – 2008 a 2020                       |                |  |  |  |                       |           |
|--|----------------|--|--|--|-----------------------|-----------|
| Taxa de crescimento do IMA (2004 a 2020) | Município      | Sensibilidade                          |  |  | Capacidade Adaptativa | Exposição |
|  |                | Valor da Produção Agrícola por hectare | Valor da Produção Agrícola por habitante | % da Área Colhida com cultura de subsistência* |                       |           |
| Aumentou                                 | Jaguaribe      | X                                      |  |  | X                     | X         |
|  | Morada Nova    | X                                      |  | X  |                       | X         |
| Reduziu                                  | Santa Quitéria |  | X  |  | X                     |           |
|  | Alto Santo     | X                                      | X  |  |                       | X         |
|  | Arneiroz       |  |  | X  | X                     | X         |
|  | Canindé        |  |  | X  | X                     | X         |
|  | Independência  |  |  |  |                       | X         |
| Permaneceu Constante                     | Irauçuba       |  |  |  | X                     |           |
|  | Itapajé        |  |  |  | X                     | X         |
|  | Jaguaretama    |  |  | X  | X                     | X         |
|  | Jaguaribara    | X                                      |  |  |                       | X         |
|  | Miraíma        |  |  |  | X                     | X         |
|  | Sobral         | X                                      |  |  | X                     | X         |
|  | Tauá           |  |  |  | X                     |           |

\* Indicador IMA diretamente proporcional a vulnerabilidade.

Os indicadores de vulnerabilidade municipais foram analisados por classe de tendência de crescimento, ou seja, municípios em que a vulnerabilidade aumentou, reduziu e permaneceu inalterados.

Os municípios Jaguaribe e Morada Nova apresentaram uma tendência positiva de crescimento, ou seja, aumento da vulnerabilidade durante o período estudado. Os indicadores de agravamento da vulnerabilidade que se assemelham foram

valor da produção agrícola por ha e climatologia, acrescentados pelas vagas no seguro safras em Jaguaribe e % de área colhida c/ culturas de subsistência em Morada Nova (Quadro 1).

O município de Santa Quitéria apresentou redução na vulnerabilidade durante a série estudada e os indicadores que apresentaram significância estatística, e que relativamente, proporcionaram essa redução, foram: valor da produção agrícola por hab e vagas no seguro safras.

No tocante ao município de Irauçuba, o indicador potencial foi o seguro safra, isto é, redução dessa política pública na região. Em relação à Canindé, Sobral, Itapajé e Miraíma os indicadores comuns a esses municípios foram vagas no seguro safra, que possui uma relação direta com a vulnerabilidade e indireta com a Climatologia (Quadro 1).

Em adição, Alto Santo, Jaguaretama e Jaguaribara sofreram influência comum do indicador climatologia que tem reflexos no regime dos rios e escoamento fluvial. Os resultados apresentados e discutidos permitiram identificar, por meio dos indicadores do IMA, quais fatores de vulnerabilidade se encontram em condições mais críticas nos municípios das ASDs, o que permite elencar quais as demandas locais no que diz respeito à implementação de estratégias para a redução da vulnerabilidade.

A Tabela 1 apresenta o quantitativo de TS por tipo e por municípios após o levantamento realizado nos sítios Mapas de tecnologias e SiG cisternas, culminando com a análise de oito diferentes exemplos de TS. Na visão de Ventura (2013) as TS têm garantido o empoderamento do homem do campo, visto que são construídas em um conjunto de práticas simples e inovadoras, que são desenvolvidas pela própria população para conseguir viver de forma digna no semiárido, promovendo, simultaneamente, o desenvolvimento da área vivencial devido à produção agrícola, à criação de animais e, principalmente a obtenção da água.

Neste estudo, a tecnologia dominante em todos os municípios foi o Tanque de Pedra (TS 7), representando, aproximadamente, 65% (sessenta e cinco por cento) de uso, seguidos das cisternas 16 mil litros (TS 8) e da enxurrada (TS 4) ambas somam 31% (trinta e um por cento). Os tanques de pedra possibilitam o armazenamento de grandes volumes de água captada nos lajedos, aproveitando a inclinação natural neles existentes e de custos muito baixo para sua implantação. É uma tecnologia de fácil concepção e essencialmente coletiva (RIBEIRO *et al.*, 2019).

A Tabela 1 ainda permite identificar que dentre as tecnologias de cisternas, a mais difundida foi a cisterna 16 mil litros, com aproximadamente 22% (vinte e dois por centos) de representação no total de municípios. Para Souza e Leal (2014) isso se deve pelo fato dessa tecnologia ser a mais conhecida e tem como finalidade o armazenamento de água para consumo humano.

Quanto a Barraginha (TS1) Silva e Barros (2016) afirmam que apesar da baixa adesão a TS1 possui inúmeras vantagens que precisam ser levadas em consideração, tais como ameniza problemas como enxurradas e erosão, retendo materiais assoreados e poluentes, como terra e adubo, contribuindo também para a diminuição da contaminação de córregos e mananciais.

Ainda em relação a Tabela 1 nota-se que os municípios mais contemplados foram Santa Quitéria, Morada Nova, Sobral e Itapajé, e os menos contemplados foram Arneiroz, Miraíma, Alto Santo e Jaguaribara. É possível observar que o município de Santa Quitéria foi o único que apresentou redução da vulnerabilidade em 17 anos. Já em Morada Nova, mesmo com o quantitativo de TS representativo, houve aumento da vulnerabilidade na série estudada. Os municípios de Itapajé e Sobral foram os mais beneficiados com 13,91% e 11,83% tecnologias, respectivamente e a vulnerabilidade permaneceu inalterada.

**Tabela 1** – Quantitativos de TS por tipo e municípios.

| Municípios     | Setor     | Tecnologias Sociais |                            |                            |                          |                           |                         | Total                 | Distribuição Relativa (%)    |                |
|----------------|-----------|---------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------|
|                |           | Barragem (TS1)      | Barragem Subterrânea (TS2) | Bomba d'água Popular (TS3) | Cisterna Enxurrada (TS4) | Barreiro Trincheira (TS5) | Cisterna Calçadão (TS6) | Tanque de Pedra (TS7) | Cisterna 16 mil litros (TS8) |                |
| Alto Santo     |           |                     |                            | 30                         |                          |                           |                         | 1.269                 | 160                          | 1.459          |
| Arneiroz       |           | 19                  |                            | 127                        |                          | 2                         |                         | 797                   | 50                           | 995            |
| Canindé        |           | 4                   |                            | 770                        | 16                       | 70                        | 1.071                   | 530                   | 2.461                        | 5.93           |
| Independência  |           | 23                  | 1                          | 274                        |                          | 26                        | 3.116                   | 292                   | 3.732                        | 9,00           |
| Irauçuba       |           | 52                  | 2                          | 369                        | 10                       | 62                        | 1.364                   | 840                   | 2.697                        | 6,50           |
| Itapajé        |           | 25                  | 12                         | 136                        | 55                       | 264                       | 2.597                   | 2.679                 | 5.770                        | 13,91          |
| Jaguaribama    |           | 13                  | 1                          | 3                          | 62                       | 15                        | 76                      | 1.606                 | 944                          | 2.720          |
| Jaguaribara    |           |                     |                            |                            |                          | 1                         |                         | 558                   | 93                           | 652            |
| Jaguaribe      |           | 13                  |                            | 3                          | 188                      | 48                        | 240                     | 2.206                 | 338                          | 3.053          |
| Miráima        |           | 25                  | 1                          | 167                        | 17                       | 80                        | 948                     | 346                   | 1.584                        | 3,82           |
| Morada Nova    |           | 47                  | 1                          |                            |                          | 82                        | 3.016                   | 1.031                 | 4.177                        | 10,07          |
| Santa Quitéria |           |                     | 2                          | 645                        | 11                       | 90                        | 3.426                   | 667                   | 4.841                        | 11,67          |
| Sobral         |           | 20                  | 1                          | 707                        | 49                       | 248                       | 3.348                   | 536                   | 4.909                        | 11,83          |
| Iauá           |           | 37                  | 2                          | 504                        | 10                       | 72                        | 1.318                   | 495                   | 2.438                        | 5,88           |
| <b>Total</b>   | <b>51</b> | <b>257</b>          | <b>16</b>                  | <b>3.979</b>               | <b>232</b>               | <b>1.312</b>              | <b>26.640</b>           | <b>9.001</b>          | <b>41.488</b>                | <b>100 (%)</b> |

**Fonte:** Elaboração própria.

A partir deste estudo, foi possível identificar tecnologias sociais alinhadas com os indicadores agravantes apontados nesta pesquisa (Quadro 2), no intuito de reduzir a vulnerabilidade local as mudanças climáticas.

**Quadro 2** – Relação de tecnologias sociais sugeridas a partir dos indicadores agravantes.

| Indicadores                   | Valor da produção agrícola por hectare e por habitante  | % de área colhida com cultura de subsistência  | Vagas no seguro safra por cem habitantes rurais   | Climatologia  |
|-------------------------------|---|--|---|---|
| Tecnologias Sociais Sugeridas | Barragem subterrânea<br>Cisterna calçadão<br>Barreiro trincheira<br>Barraginha<br>Tanque de pedra | Barragem subterrânea<br>Tanque de pedra<br>BAP<br>Cisterna calçadão<br>Cisterna enxurrada<br>Barraginha<br>Barreiro trincheira | Barragem subterrânea<br>Tanque de pedra<br>BAP<br>Cisterna calçadão<br>Cisterna enxurrada<br>Barraginha | Barragem subterrânea<br>Cisterna calçadão<br>Cisterna enxurrada<br>Tanque de pedra<br>Barreiro trincheira<br>Cisterna 16 mil litros<br>Barraginha |

Para os municípios que demonstraram o indicador climatologia como agravante as tecnologias sugeridas, são principalmente, cisternas 16 mil litros, cisterna calçadão e barragem subterrânea por exigirem baixos índices pluviométricos. Quando se fala em abundância de afloramento em solos cristalinos no SAB as TS mais indicadas são tanque de pedra, barragem subterrânea, BAP e barreiro trincheira.

Observa-se que todas as tecnologias de fato são adequadas para as ASD's e muito contribuem para aumentar o acesso a água e produção de alimentos. Contudo, foi verificado que a barraginha, barragem subterrânea e bomba d'água popular podem ter um alto potencial de atenuar os impactos agravados

pelos indicadores apontados neste estudo e com isso, diminuir a vulnerabilidade a seca.

Nesse contexto, ressalta-se que Gomes e Heller (2016) citam que nenhuma iniciativa isolada é capaz de atender plenamente à demanda de água para consumo doméstico e produtivo das famílias rurais da ASD. Portanto, sugeri-se, além do tanque de pedra e cisternas 16 mil litros (apesar de aparecerem em maiores números), a instalação de barragem subterrânea, cisternas calçadão e enxurrada, barreiro trincheira, barraginha e Barragem de Pequena Dimensão (BAP).

#### **4 CONCLUSÃO**

Este estudo permite concluir que a vulnerabilidade é intrínseca nas Áreas Susceptíveis à Desertificação - ASD's do Ceará e combater as causas de vulnerabilidade de forma específica torna-se uma premência. Os municípios aí localizados transitam nas classes de maior vulnerabilidade, quais sejam Alta e Média-alta vulnerabilidade, de acordo com o IMA. Conforme a taxa de crescimento médio anual, no período de 17 anos recentes, a maioria dos municípios está inserida na classe em que a vulnerabilidade permaneceu inalterada durante a série estudada.

Considerando-se os doze indicadores do IMA aceitos como proxy da vulnerabilidade, aqueles cujo comportamento se constitui causa imediata a ser combatida foram - valor da produção agrícola por hectare e por habitante, % de área colhida c/ culturas de subsistência, vagas no seguro safra por 100 habitantes rurais e climatologia. Tais indicadores estão relacionados à produção de alimentos (segurança alimentar) e a disponibilidade hídrica da região.

As tecnologias sociais apresentam funcionalidades que podem contribuir para provocar mudanças nas fragilidades

identificadas. Embora haja uma disseminação dessas estratégias de convivência com a seca nas ASD's, algumas delas são mais frequentes. É o caso do tanque de pedra, da cisterna 16 mil litros e da cisterna enxurrada, respectivamente. As demais tecnologias se apresentam em menor freqüência, chamando atenção para a inexpressiva implantação das TS's barragem subterrânea, barraginha, barreiro trincheira e bomba d'água popular. Quanto à baixa adesão da barragem subterrânea, esta pode se dar pela necessidade de maior mão de obra em sua construção e manutenção, e falta de conhecimento do solo exigido para sua implantação.

Considerando-se os indicadores que demandam estratégias mais urgentes para a redução da vulnerabilidade e o potencial das TS's, o estudo destaca a Barragem subterrânea, as Cisternas calçadão e enxurrada, o Tanque de pedra e a Barraginha, como as tecnologias que deveriam ser mais difundidas nas ASD's.

A pesquisa ainda reforça o argumento de que para diminuir à vulnerabilidade às mudanças do clima e, como consequência, o aumento da capacidade adaptativa da população, necessário se faz a implantação de um conjunto de tecnologias respeitando as particulares locais como saberes, conhecimento ambiental da área e exigências de cada TS.

## REFERÊNCIAS

ADGER, W.N. 2006. Vulnerabilidade. 2006. Global Environmental Change 16 (2006) 268-281. Doi: 10.1016 / j.gloenvcha.2006.02.006.

BEZERRA, K.R.A. **Os fatores influenciadores da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental no Ceará: uma avaliação político-institucional.** Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre,

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos,  
269p., 2017.

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca.** PAE-CE, Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos. 2010.

CORTEZ, Helder dos Santos *et al.* A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. **Parc. Estratégica.** Brasília-DF, v.22, n. 44, p. 83-118, jan-jun 2017.

FERNÁNDEZ, L. *et al.* Synergies and trade-offs between climate change mitigation and adaptation strategies: lessons from Social Technologies in the semiarid region of Bahia, Brazil. Latin American J. **Management for Sustainable Development**, v. 3, n. 1, 2016.

FUNCENE, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; DNOCS, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento Ecológico-Econômico das áreas susceptíveis à desertificação do Núcleo II – Inhamuns.** Fortaleza, 290p. 2015b. ISBN: 978-85-420-0604-9. FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/7>. Acesse em: 14 fev. 2020.

GOMES, U.A.F.; HELLER, L. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 623-653, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016128417.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.** Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132p. 2014a.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. 2021.

IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará.  
**Índice Municipal de Alerta.** Fortaleza – Ceará: IPECE, 2020. ISSN: 1983-4950.

MANCAL, Ansu. Capacidade adaptativa das comunidades nas áreas susceptíveis à desertificação no Estado do Ceará. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza-CE, 160 p., 2015. DOI:10.13140/RG.2.1.2812.3281.

MARENGO, J.A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP** - São PAULO, n. 103, p. 25-32, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p25-32.

MARTINS, M. A. et al. Vulnerability of Agricultural Production in the Brazilian Semi-Arid: An Empirical Approach including Risk. IDRIM Journal, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2017. ISSN: 2185-8322.

MEDEIROS, C.N.; GOMES, D.D.M.; ALBUQUERQUE, E.L.S. Análise do Monitoramento do Índice Municipal de Alerta (IMA) no Estado do Ceará: Avanços e Desafios dos Municípios no Período de 2004 a 2010. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria e Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**. v. 18, n. 2, p. 816-825. 2014. ISSN 2236 1170. DOI: 10.5902/2236117013585. Acesso em: 11 jan. 2021.

MENDES JUNIOR, R.C.A. Breves considerações sobre a territorialização do programa uma terra e duas águas no estado do Ceará-BRASIL. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, p. 279-291, jan./jun. 2019. ISSN 1678–698X.

NOBRE, C.A.; MARENCO, J.A. (Orgs). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos, SP: INCT, 608 p. 2017. ISBN 978-85-7917-463-6.

OLIVEIRA, J.A. **Análise da agricultura familiar no Município de Irauçuba, segundo a sua capacidade adaptativa à seca, a partir das tecnologias de captação e armazenamento da água**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Pós-Graduação em Economia Rural, Fortaleza-CE, 105 p. 2014.

PEREIRA, G.R. et al. Vulnerabilidade e Adaptação à Seca nos Sertões Brasileiros. **Encontro anual das ANPOCS**, 2017.

RIBEIRO, C.A. et al. O tanque de pedra como tecnologia de captação e armazenamento de água de chuva e gestão comunitária dos recursos hídricos In:**Tecnologias de convivência com o semiárido.** XIMENES, Luciano Feijão; SILVA, Maria Sonia Lopes da; BRITO, Luiza Teixeira de Lima (eds.). Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil, cap. 5, p. 325-344. 2019. ISBN: 978-85-68360-28-6.

RTS, Rede de Tecnologia Social. (Brasil) (Org.). **Tecnologia Social e Desenvolvimento Sustentável: Contribuições da RTS para a formulação de uma Política de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação.** Brasília/DF: Secretaria Executiva da Rede de Tecnologia Social (RTS), 98 p., 2010.

SHARMA, J.; RAVINDRANATH, N. **Applying IPCC 2014 framework for hazard-specific vulnerability assessment under climate change.** 2019.

SILVA, V.P.S.; BARROS, E.C.N. Tecnologias sociais no Rio Grande do Norte: algumas discussões sobre a convivência com o Semiárido. **Sustentabilidade em Debate** - Brasília, v. 7, Edição Especial, p. 69-85, dez/2016. DOI:10.18472/SustDeb.v7nEsp.2016.18760.

SILVA, M.S.L. et al. Barragem subterrânea. In: **Tecnologias de convivência com o semiárido.** XIMENES, Luciano Feijão; SILVA, Maria Sonia Lopes da; BRITO, Luiza Teixeira de Lima (eds.). Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil, cap. 2, p. 223-281. 2019. ISBN: 978-85-68360-28-6.

SOUZA, B.N.S.; LEAL, A.K.T.B.N. Cisterna de placa: uma tecnologia social para a convivência com o semiárido. **Revista Caravana.** v. 1, n. 1. 2014. ISSN 2359-0882.

VENTURA, A.C. **Tecnologias Sociais de Convivência com o Semiárido Baiano: Estratégia para a Governança Global do Clima.**

Tese (Doutorado em Administração) – Núcleo de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 243p. 2013.

VENTURA, A.C. *et al.* O potencial das tecnologias sociais de convivência com o semiárido para a geração de sinergia entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas: um caso ilustrativo. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 50, n. 1, p. 65-83, jan/mar., 2019.

ZEBISCH, M. *et al.* The vulnerability sourcebook and climate impact chains – a standardised framework for a climate vulnerability and risk assessment. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 13, n. 1, p. 35-59p. 2021. DOI 10.1108/IJCCSM-07-2019-0042.

# **MITIGAÇÃO CLIMÁTICA E RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ENCLAVES DE FLORESTA TROPICAL ÚMIDA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

*Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante*

*Ney Sandro Vieira de Souza*

*Silvoneudo Oliveira do Nascimento*

*Emerson Mariano da Silva*

## **1 INTRODUÇÃO**

O sexto relatório de avaliação do clima (AR6) elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) reforçou o que outros relatórios do IPCC já haviam mencionado, ou seja, que o aquecimento global e as mudanças climáticas são impulsionados pelas ações humanas e que estão causando perturbações perigosas e generalizadas na natureza, afetando a vida de bilhões de pessoas e de outras espécies em todo o planeta.

O relatório do estado do clima global 2022 da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2023), complementar ao AR6, destacou que as concentrações dos três principais gases de efeito estufa (GEE) – dióxido de carbono, metano e óxido nitroso – atingiram recordes em 2021 e dados em tempo real de locais específicos mostraram que os níveis dos três gases aumentaram em 2022.

Sabe-se que a queima de florestas e de combustíveis fósseis são as principais fontes de origem humana poluidoras da

atmosfera, liberando milhões de toneladas de GEE por ano em todo o planeta. Esses gases lançados na atmosfera são, justamente, os elementos que estão provocando o aquecimento global com destaque para o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Segundo The Global Carbon Project (2022), das 2,4 trilhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  emitidas pelo Homem desde a Revolução Industrial, metade foi lançada na atmosfera desde 1990. Isso demonstra que nos últimos 30 anos a emissão de  $\text{CO}_2$  tem se intensificado e promovido o aquecimento global, que é o grande impulsor da mudança climática.

Como o aquecimento global e as mudanças nas características do clima vêm se tornando um sério problema global, os estudos científicos são fundamentais para fornecer o conhecimento necessário sobre o que deve ser feito para enfrentar esse problema. Um ponto em comum no pensamento científico é promover de forma drástica a redução das emissões de GEE, sobretudo do  $\text{CO}_2$ .

Entretanto, mesmo com esse esforço de redução de  $\text{CO}_2$ , ainda é possível que os resultados esperados não sejam suficientes para, pelo menos, estabilizar esses eventos. Nesse caso se faz necessário também fomentar a remoção de  $\text{CO}_2$  já presente na atmosfera e armazenar na natureza. Os cenários climáticos exigem que seja preciso remover bilhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  por ano até meados do século e, ao mesmo tempo, aumentar os esforços para reduzir as emissões (Mulligan *et al.*, 2018).

O mecanismo envolvido para a remoção de GEE da atmosfera, em particular do  $\text{CO}_2$ , é chamado genericamente de mitigação, e o protocolo de Kyoto enxerga a remoção como alternativa viável para promover a mitigação climática (UNEP, 2012). Por definição, a mitigação se refere aos esforços para reduzir/evitar a emissão de GEE ou para fortalecer sua remoção da atmosfera por meio de sumidouros (UNFCCC, 2023).

Em relação à remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera existem, essencialmente, dois caminhos. Um que considera usar os processos naturais já existentes como o armazenamento de carbono pelas plantas, solos, formações geológicas e oceanos (sumidouros de carbono) e outro que propõe usar os processos artificiais como a técnica de Sequestro Geológico de Carbono ou a Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (Margulis, 2020).

A remoção de CO<sub>2</sub> pelas plantas terrestres através da fotossíntese é um dos processos mais viáveis, pois na fase de crescimento as árvores precisam de uma grande quantidade de carbono para se desenvolver (Lee; Kim, 2023). E, nessa perspectiva o Brasil pode assumir uma posição importante, visto que dispõe de vastas áreas potencialmente reflorestáveis e conhecimento tecnológico para viabilizar (TNC, 2023).

No Brasil, o estado do Ceará que apesar de não ter plano estadual de mudança climática vem promovendo a proteção ambiental em seu território, criando unidades de conservação da natureza que evitam ou atenuam os efeitos negativos de desmatamentos e queimadas, fatores relacionados à emissão de GEE. Mas, essas unidades de conservação podem oferecer mais, sobretudo na perspectiva de aproveitamento para mitigação climática por meio da remoção natural de CO<sub>2</sub>. Aqui, emerge o pensamento para ações de plantios de árvores nativas em áreas degradadas (restauração florestal).

Como o Estado é quase totalmente semiárido, onde o crescimento de plantas lenhosas ocorre de forma lenta e somente em determinado período do ano, esse aspecto ambiental parece inviabilizar a restauração florestal para fins de mitigação climática. No entanto, o Ceará dispõe de algumas áreas de florestas úmidas (enclaves ou ilhas de florestas úmidas) que estão protegidas por lei, por exemplo, a Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité

(APA-SB) e a Área de Proteção Ambiental da Serra de Meruoca (APA-SM), onde a restauração florestal é factível.

Nesse contexto, as APAs de Baturité e Meruoca se apresentam como ambientes adequados para avaliar o potencial de remoção de C e CO<sub>2</sub> por reflorestamento com espécies arbóreas nativas em suas áreas degradadas. Portanto, tendo em vista saber qual o potencial das APAs de Baturité e Meruoca para remoção natural de carbono, foi traçados os seguintes objetivos: Identificar e quantificar as áreas degradadas das APAs com potencial para reflorestamento e calcular quanto às áreas de plantio com árvores de espécies nativas seriam capazes de remover CO<sub>2</sub> da atmosfera.

## **2 ENCLAVES DE FLORESTA ÚMIDA NO ESTADO DO CEARÁ**

O semiárido brasileiro é revestido predominantemente por uma floresta tropical seca sazonal, composta em sua maioria de vegetação classificada como sendo do Bioma Caatinga, cuja uniformidade é quebrada por enclaves de vegetação. Dentre esses os mais notáveis são os enclaves florestais úmidos que ocorrem sobre algumas formações de rochas sedimentares e serras residuais cristalinas que variam de 700 a 1.200 m de altitude, totalizando pelo menos onze enclaves em toda a região (Cavalcante, 2005a; Souza; Pinto, 2006). Conforme Ab'Sáber (2003), a expressão “enclave” fitogeográfico é para designar manchas de ecossistemas típicos de outras províncias, porém encravadas no interior de um domínio de natureza totalmente diferente.

No semiárido do estado do Ceará considerando somente os enclaves florestais úmidos sobre as serras residuais cristalinas, estes se distribuem de modo disperso, com dimensões variadas e estão submetidos às influências de mesoclimas de altitude. A ação combinada de mesoclimas de altitude e solos adequados propiciou

para algumas serras residuais cristalinas, o estabelecimento de floresta tropical úmida nas partes mais elevadas.

Nas partes elevadas dessas serras, a floresta apresenta um extrato arbóreo sempre verde de médio e grande porte, destoando sobremaneira do extrato arbóreo-arbustivo caducifólio e de baixo porte (Caatinga) circunvizinho e estabelecido mais abaixo (Cavalcante *et al.*, 2000). Esse ambiente serrano úmido corresponde às serras de Aratanha, Baturité, Maranguape, Meruoca e Uruburetma (Souza, 2011) e dentre essas os enclaves de Baturité e Meruoca são emblemáticos, além de abrigarem unidades de conservação na categoria Área de Proteção Ambiental (APA).

A APA é uma extensa área natural destinada à proteção e conservação dos atributos fauna e flora, estéticos ou culturais existentes, importantes para a qualidade de vida da população local e para a proteção dos ecossistemas regionais. O objetivo principal de uma APA é a conservação de processos naturais e da biodiversidade, por meio da orientação do desenvolvimento e da adequação das várias atividades humanas às características ambientais da área (Brasil, 2000). Portanto, na APA são permitidas atividades agropecuárias, silviculturais, industriais dentre outras, desde que alinhadas com as diretrizes de gerenciamento e conservação da unidade de conservação.

A Área de Proteção Ambiental Serra de Baturité (APA-SB) é uma unidade de conservação estadual (Decreto nº 20.956 de 18/09/1990 alterado pelo Decreto nº 27.290 de 15/12/2003) delimitada a partir da cota altimétrica 600 m, com coordenadas geográficas extremas de 4°08' e 4°47' latitude S, 38°50' e 39°05' longitude W, abrangendo uma área de 32.690 ha (Figura 1). As médias anuais da temperatura e precipitação na APA-SB são 20 °C e 1.500 mm, respectivamente (Bastos, 2011) e a altitude média cerca de 700 m com alguns picos superando 900 m. Quatro tipos de solo ocorrem com dominância para o tipo Argissolos

Vermelho-Amarelos Distróficos (PVAd). Nessas condições físicas está estabelecida uma florestal úmida de Mata Atlântica de grande valor ecológica (Cavalcante, 2005b).

A Área de Proteção Ambiental Serra da Meruoca (APA-SM) é uma unidade de conservação federal (Lei nº 11.891 de 24/12/2008) composta de duas partes distintas e separadas, correspondendo a uma área total de 29.361,74 ha (Figura 1). Os níveis altimétricos da APA-SM variam entre 650 a 850 metros. Na parte norte da APA-SM se encontra a Serra da Meruoca com coordenadas geográficas extremas de 3° 57' 94" e 3° 59' 83" latitude S, 40° 35' 33" e 40° 60' 10" longitude W. A vertente barlavento e o platô da serra estão submetidos a precipitações regularmente distribuídas com média pluviométrica de 1.527,9 mm (FUNCME, 2015).

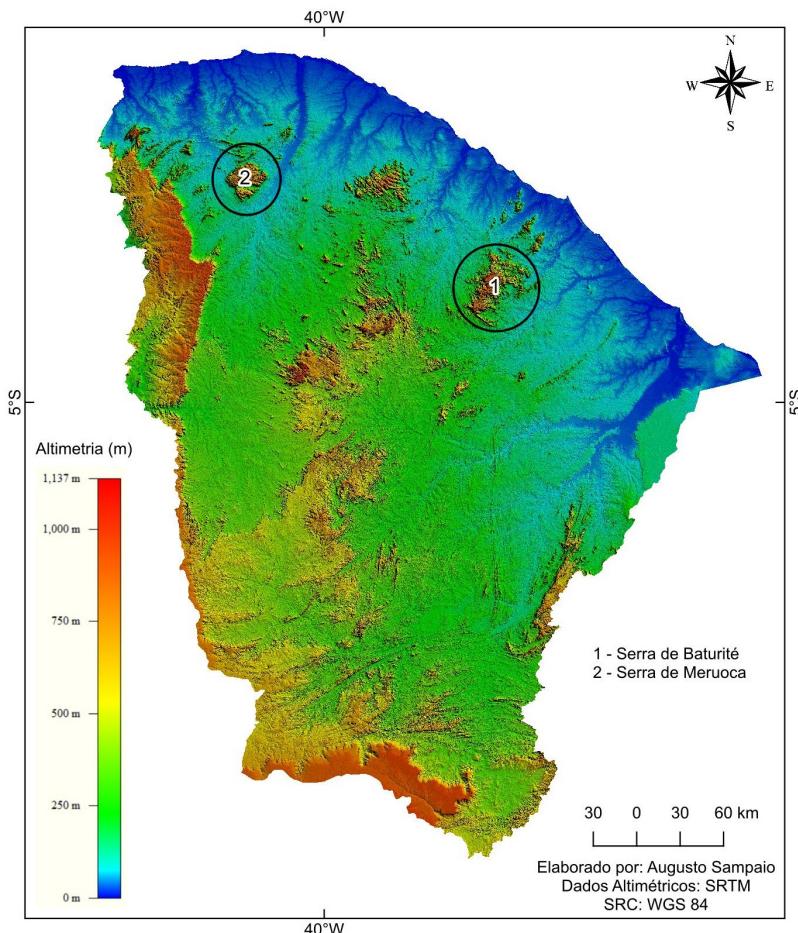
Identifica-se nessas áreas da serra (vertente barlavento e platô) uma formação florestal tropical úmida do bioma Mata Atlântica (Lima, 2016). Na parte sul da APA-SM se localiza a Serra do Rosário, com coordenadas geográficas extremas de 3° 69' 33" e 3° 68' 45" latitude S, 40° 51' 57" e 40° 51' 31" longitude W.

Dada à reduzida incidência pluviométrica na serra, ocorre uma floresta tropical seca sazonal, Caatinga. Em ambas as partes da APA-SM ocorrem quatro tipos de solo, com predominância de Argissolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos (*ibidem*). Conforme a classificação climática de Köppen para o Brasil (Alvares et al., 2013), as APA-SB e APA-SM estão submetidas ao clima tropical chuvoso com inverso seco - Aw.

Em adição, menciona-se que várias ações antrópicas vêm ameaçando ambas as APAs, mesmo depois da criação das unidades de conservação. É notório o uso desordenado das áreas de preservação permanente (nascentes, córregos, vertentes e topos de morros), o uso continuado de áreas para agricultura, pecuária, construção de residências, dentre outros (Bastos, 2011;

Souza, 2024). Todas essas ações afetam diretamente as APAs e o ambiente serrano por meio do desflorestamento e queimadas, consequentemente, atingindo a biota e, sobretudo, o solo ao potencializar a erosão hídrica e degradação.

**Figura 1** – Destaque para a localização das serras de Baturité e Meruoca-Rosário no estado do Ceará, Brasil.



**Fonte:** Mapa Hipsométrico Tridimensional (CPRM, 2003).

### **3 CÁLCULO DA REMOÇÃO NATURAL DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)**

Para o cálculo da remoção natural de carbono foi necessário, inicialmente, conhecer quanto de área com potencial para restauração florestal havia disponível em cada APA. Para tal, foram produzidos mapas de uso e ocupação para cada APA utilizando-se dos dados da plataforma MapBiomas, imagens dos satélites Google Earth Pro e RapidEye (Xavier; Menezes; Silva, 2024) e do software QGIS 3.16 (livre e aberto). Na sequência calculou-se as áreas (ha) com potencial para restauração florestal nas APAs, levando em conta somente a classe “Outras áreas não vegetadas”, condição que as tornam disponíveis para o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas.

Quanto ao cálculo de sequestro de carbono foram observados quatro trabalhos, três envolvendo florestas nativas e outro usando plantação de eucalipto. No primeiro estudo Martins (2005) estimou 78 toneladas de carbono (tC) capturado a partir de um hectare de reflorestamento de mata ciliar no sudeste do Brasil, com 1.500 indivíduos de diferentes espécies nativas de floresta tropical úmida. A floresta encontrava-se em estágio clímax de desenvolvimento com 37 anos de idade. Assim, em média, cada planta sequestrou 52 kg de carbono em 37 anos. No segundo estudo, IPCC (2006) citado por Pinto (2013), foi estimado 140 tC imobilizado a partir de um hectare de floresta tropical primária da América do Sul com idade de 20 anos. Contudo, não foi especificado o número de indivíduos presentes por hectare de floresta.

Pachón (2014) calculou 75 tC imobilizado por hectare em uma mata nativa plantada no sudeste do Brasil com 20 anos de idade. Também, não especificou o número de plantas nativas utilizadas por hectare e Carmo (2016) contabilizou 42 tC capturados a partir de um hectare de plantação de eucalipto contendo 1.112 indivíduos com idade de sete anos. Cada árvore de

eucalipto sequestrou 38 kg de carbono em sete anos. A estimativa de sequestro de carbono para plantação de eucalipto mostrou grau de confiança melhor, devido ao processo de mensuração do carbono, porém o eucalipto é uma espécie arbórea exótica de rápido crescimento e não recomendada para uso em restauração reflorestal de APAs.

Diante da ausência de uma padronização para o cálculo de sequestro de carbono acima do solo em floresta tropical, bem como para floresta tropical em áreas acidentadas, caso das APAs de Baturité e Meruoca, foi assumido que o espaçamento adotado para o plantio seria 3 m x 2 m suportando 1.667 indivíduos por hectare (Sturion e Bellote, 2000), haja vista o padrão de relevo onde se localizam as APAs ser, predominantemente, forte ondulado a montanhoso (Bétard; Peulvast, 2011), e que os valores de 52 kg sequestrados de carbono por indivíduo de espécie nativa com idade de 37 anos (Martins, 2005) e 38 kg sequestrados de carbono por indivíduo de eucalipto com idade de sete (7) anos (Carmo, 2016) seriam utilizados como referências.

Destaca-se que a utilização de 38 kg C por planta da plantação de eucalipto foi utilizado apenas para efeito comparativo. De todo modo, para uma primeira aproximação buscou-se estimar a quantidade de carbono sequestrado em duas diferentes circunstâncias envolvendo plantas nativas e exóticas. As toneladas de carbono sequestrado pelas árvores foram convertidas em toneladas de gás carbônico ( $tCO_2$ ), principal gás de efeito estufa. Para isso 1 tC equivale a 3,67  $tCO_2$  (Rocha, 2003).

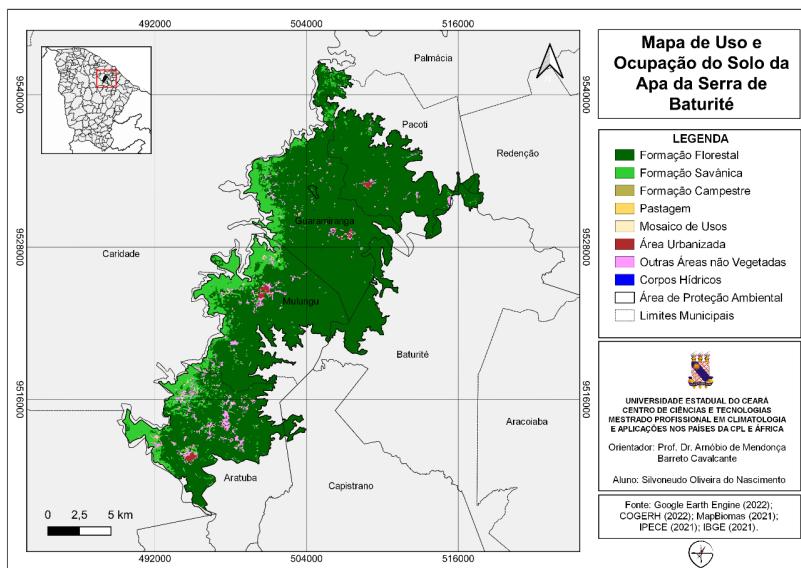
#### **4 POTENCIAL DE MITIGAÇÃO CLIMÁTICA DAS APAS**

Dois mapas de Uso e Ocupação do Solo (APA-SB e APA-SM) foram produzidos para identificar e quantificar espacialmente as áreas naturais e modificadas pelo Homem. As áreas identificadas

foram enquadradas em oito categorias: formação florestal, formação savânica, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, outras áreas não vegetadas e corpos hídricos (Figuras 2 e 3).

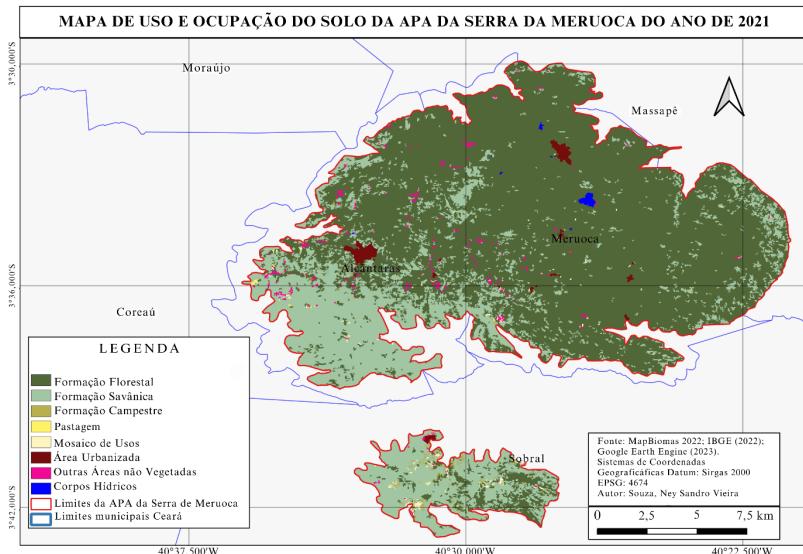
As categorias com suas respectivas extensões encontram-se na Tabela 1. Destaca-se a categoria “Outras Áreas Não Vegetadas” com 1.886,21 ha e 208,78 ha respectivamente, APA-SB e APA-SM.

**Figura 2** – Mapa de Uso e Ocupação do Solo da APA-SB 2021.



**Fonte:** Nascimento (2023).

**Figura 3** – Mapa de Uso e Ocupação do Solo da APA-SM 2021.



**Fonte:** Souza (2024).

**Tabela 1** – Extensão territorial para os tipos de uso e ocupação do solo nas APAs das serras de Baturité (APA-SB) e Meruoca (APA-SM) em 2021

| <b>Tipo de uso e ocupação do solo</b> | <b>Área (ha)</b> |               |
|---------------------------------------|------------------|---------------|
|                                       | <b>APA-SB</b>    | <b>APA-SM</b> |
| Formação florestal                    | 21.150,43        | 20.561,60     |
| Formação savânicas                    | 7.289,87         | 8.114,91      |
| Formação campestris                   | 117,68           | 104,60        |
| Pastagem                              | 68,64            | 18,29         |
| Mosaico de usos                       | 58,84            | 94,96         |
| Área urbanizada                       | 1.046,08         | 223,51        |
| Outras áreas não vegetadas            | <b>1.886,21</b>  | <b>208,78</b> |
| Corpos hídricos                       | 1.072,00         | 47,77         |
| Total                                 | 32.690,00        | 29.374,00     |

A soma das áreas da categoria “Outras Áreas Não Vegetadas” das APAs totalizou 2.094,99 ha. Considerando que cada hectare em relevo declivoso seja capaz de receber 1.667 mudas utilizando-se do espaçamento 3x2 m, pode-se inferir que a área total disponível nas APAs possa receber 3.492.348 mudas de árvores de espécies nativas ou eucalipto (Tabela 2).

Considerando um cenário ideal onde, supostamente, toda a área disponível nas duas APAs tenha sido restaurada utilizando-se de 3.492.348 mudas de árvores e sem perdas significativas ao longo do tempo, calculou-se que o estoque de carbono na biomassa aérea florestal seria 181.602,09 tC ao cabo de 37 anos utilizando-se de espécies nativas e 132.709,22 tC em sete anos com plantação de eucalipto. A conversão de tC para tCO<sub>2</sub> mostrou que a restauração com espécies nativas seria capaz de sequestrar da atmosfera 600.479,66 tCO<sub>2</sub> em 37 anos e a plantação de eucalipto 487.042,79 tCO<sub>2</sub> em sete anos. Por hectare, o sequestro de C em toneladas foi calculado em 86,7 tC (318,2 tCO<sub>2</sub>) para a restauração com espécies nativas e 63,3 tC (232,3 tCO<sub>2</sub>) para a plantação de eucalipto (Tabela 2).

**Tabela 2** – Restauração e sequestro de C e CO<sub>2</sub> nas APA-SB e APA-SM

| # | Discriminação   | APA-SB    | APA-SM  | Total     |
|---|---|-----------|---------|-----------|
| 1 | Área atual disponível para restauração florestal em hectare                       | 1.886,21  | 208,78  | 2.094,99  |
| 2 | Número de árvores com espaçamento 3x2 m por hectare                               | 1.667     | 1.667   | ---       |
| 3 | Número de mudas de árvore para plantio na área disponível                         | 3.144.312 | 348.036 | 3.492.348 |
| 4 | Captura de carbono (kg) por indivíduo de espécie nativa com 37 anos de idade      | 52        | 52      | ---       |
| 5 | Captura de carbono (kg) por indivíduo de eucalipto com 7 anos de idade            | 38        | 38      | ---       |
| 6 | Toneladas de carbono (tC) estocado por hectare com indivíduos nativos aos 37 anos | 86,7      | 86,7    | 86,7      |

| #  | Discriminação  | APA-SB     | APA-SM    | Total      |
|----|--|------------|-----------|------------|
| 7  | Toneladas de carbono (tC) estocado por hectare com indivíduos de eucalipto aos 7 anos  | 63,3       | 63,3      | 63,3       |
| 8  | Toneladas de carbono (tC) estocado na área disponível com indivíduos de espécies nativas aos 37 anos                                       | 163.504,22 | 18.097,87 | 181.602,09 |
| 9  | Toneladas de carbono (tC) estocado na área disponível com indivíduos de eucalipto aos 7 anos   | 119.483,85 | 13.225,36 | 132.709,22 |
| 10 | Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera por hectare de reflorestamento aos 37 anos                         | 318,1      | 318,1     | 318,1      |
| 11 | Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera por hectare de plantação de eucalipto aos 7 anos                   | 232,3      | 232,3     | 232,3      |
| 12 | Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera na área disponível com indivíduos de espécies nativas para 37 anos | 600.060,48 | 66.419,18 | 666.479,66 |
| 13 | Toneladas de gás carbônico (tCO <sub>2</sub> ) sequestrado da atmosfera na área disponível com indivíduos de eucalipto para 7 anos         | 438.505,72 | 48.537,07 | 487.042,79 |

**Fonte:** APA-SB (Nascimento, 2023); APA-SM (Souza, 2024).

Os resultados para as APAs de Baturité e Meruoca foram satisfatórios. Os estoques estimados de 86 tC/ha em 37 anos se equipararam aos achados de 78 tC/ha com 37 anos de Martins (2005) e 75 tC/ha com 20 anos de Pachón (2014), estudos que também envolveram espécies arbóreas nativas. Em comparação à plantação de eucalipto verificou-se uma diferença expressiva em relação aos resultados de Carmo (2016), evidentemente, devido ao eucalipto ser uma espécie exótica de rápido crescimento, bem como pelo tempo considerado para o cálculo, sete anos.

O conjunto das informações geradas deixa claro que vários fatores influenciam nas estimativas de captura de C por unidade de área (ha), por exemplo, número de plantas utilizadas (densidade), espécies nativas ou exóticas, frequência de distúrbios

naturais e antrópicos, condição ambiental (solo, clima etc.), idade da restauração dentre outros, tornando o cálculo com limitações. No entanto, as estimativas são importantes como primeira aproximação, fornecendo uma ideia preliminar para a real capacidade de sequestro de C e CO<sub>2</sub> por unidade de espaço e tempo.

De todo modo, o importante a destacar aqui é a existência de potencial para sequestro do C a partir da restauração florestal nas áreas não vegetadas das APAs. O estoque de carbono na biomassa aérea florestal estimado para as duas APAs em 181.602,09 tC ao cabo de 37 anos, é uma contribuição significativa do ponto de vista da remoção do principal gás de efeito estufa (CO<sub>2</sub>) e, sobretudo, é uma demonstração da importância das florestas tropicais secundárias para essa finalidade. Conforme Heinrich et al. (2023) as florestas tropicais antigas e intactas são sumidouros de carbono importantes globalmente, mas as florestas tropicais secundárias e degradadas têm mostrado também potencial para acumulação de carbono. As florestas secundárias tropicais sequestram carbono até 20 vezes mais rápido do que as florestas primárias (Heinrich et al., 2021).

Proteger as florestas primárias é uma prioridade, mas a restauração de áreas degradadas com florestas nativas pode ser também uma ação futura prioritária para viabilizar pontuais e potenciais sumidouros de carbono nas principais regiões tropicais (Heinrich et al., 2023). Programar mecanismos legais para proteger e expandir as florestas secundárias, ao mesmo tempo em que se apoia a conservação de matas antigas é, portanto, a chave para realizar seu potencial como uma solução climática baseada na natureza (Heinrich et al., 2021).

Nessa perspectiva de solução climática baseada na natureza, para as APAs de Baturité e Meruoca é uma oportunidade prestar serviço como sumidouro natural de C ou CO<sub>2</sub> sem alterar o objetivo central da APA, qual seja, a conservação de processos

naturais e da biodiversidade, orientando o desenvolvimento e adequando as várias atividades humanas às características ambientais da área (Brasil, 2000).

Legalmente nada impede que as duas APAs venham a atuar como sumidouros, ainda que de contribuição pequena para os esforços globais de estabilização das concentrações de gases de efeito estufa. Vale destacar que o estado do Ceará apesar de quase totalmente inserido no semiárido brasileiro, ainda disponibiliza outras áreas em serras cristalinas similares, por exemplo, a serra de Uruburetama (Moro et al., 2015) que também necessitam de restauração florestal, mais um potencial sumidouro de carbono.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As APAs das serras de Baturité e Meruoca situadas no estado do Ceará disponibilizam cerca de dois mil hectares para o plantio de aproximadamente três milhões e meio de mudas de espécies arbóreas nativas. A restauração florestal se bem conduzida na área disponível poderá sequestrar 666.479,66 tCO<sub>2</sub> da atmosfera até meados do século corrente.

A restauração florestal nas APAs traria vantagens para a conservação da natureza e sociedade local, visto que durante o desenvolvimento das árvores haveria, além da captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera contribuindo para o combate à intensificação do efeito estufa e suas consequências negativas ao clima, benefícios outros como a proteção ao solo, água, encostas e ao enriquecimento da biodiversidade. Portanto, a restauração florestal é uma medida adaptativa e uma oportunidade para as APAs estudadas, tornarem-se também sumidouros naturais de CO<sub>2</sub>, ainda que em dimensão global diminuta para os esforços mundiais de mitigação climática.

Vale destacar que a arborização e reflorestamento (*Afforestation and Reforestation - A/R*) (Gold Standard Foundation, 2024) são reconhecidos pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e Protocolo de Quioto como medidas eficientes de mitigação do efeito estufa. Nesse contexto é importante lembrar que o Brasil é um dos países que assinaram o Acordo de Paris em 2015, tendo assumido o compromisso de reduzir as emissões de carbono e promover a mitigação climática. A mitigação climática por restauração florestal das áreas não vegetadas das APAs das serras de Baturité e Meruoca poderiam ajudar o Brasil a honrar o compromisso assumido.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité:** uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J-P. Evolução morfoestrutural e morfope-dológica do maciço de Baturité e de seu piemont: do Cretáceo ao Presente. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité.** Uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 35-59.

BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC.** Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

CARMO, F. C. A. **Balanço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

CAVALCANTE, A. M. B.; SOARES, J. J.; FIGUEIREDO, M. A. Comparative phytosociology of tree sinusiae between contiguous forests in different stages of succession. **Revista Brasileira Biologia**, São Carlos, v. 60, n. 5, p. 551-562, 2000.

CAVALCANTE, A. Jardins suspensos no sertão. **Scientific American - Brasil**, São Paulo, p. 60-67, 2005a.

CAVALCANTE, A. M. B. **A Serra de Baturité.** Fortaleza: Edições Livro Técnico, 2005b.

FUNCENE - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Série histórica de Meruoca. 1980-2014. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 21 jul. 2015.

Global Carbon Projec (GCP). The Global Carbon Project. Disponível em: <<https://www.globalcarbonproject.org/about/index.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

Gold Standard Foundation. Methodology for afforestation/reforestation (A/R) GHGS emission reduction & sequestration, 2024.

HEINRICH, V. H. A. et al. Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. **Nature Communications**, v. 12:1785. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>.

HEINRICH, V. H. A. et al. The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests. **Nature**, v. 615. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05679-w>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: IPCC, 2021. doi:[10.1017/9781009157896](https://doi.org/10.1017/9781009157896).

LEE, S-G.; KIM, H-J. Spatiotemporal approach for estimating potential CO<sub>2</sub> sequestration by reforestation in the Korean Peninsula. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p.1106630, 2023. doi:[10.3389/ffgc.2023.1106630](https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1106630).

LIMA, J. S. **Proposta de zoneamento geoambiental para a área de proteção ambiental serra da Meruoca, Ceará.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

MARGULIS, S. **Mudanças do Clima:** Tudo que você queria e não queria saber. Rio de Janeiro: Konrad, 2020.

MARTINS, O. S. **Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos – SP.** Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MORO, M. F. et al. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015. DOI: 10.1590/2175-7860201566305.

MULLIGAN, J. et al. Technological Carbon Removal in the United States. **Working Paper**, Washington, DC, 2018.

NASCIMENTO, S. O. Potencialidade de mitigação das mudanças climáticas na APA da serra de Baturité-Ce. Dissertação (Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.

PACHÓN, D. A. O. **Estimativa das emissões e remoções de gases de efeito estufa produzidas pelo INPE em 2012.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

PINTO, N. D. **Análise comparativa entre o reflorestamento e outras alternativas de mitigação de gases de efeito estufa no estado do Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ROCHA, M. **Aquecimento global e o mercado de carbono:** uma aplicação do Modelo CERT. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOUZA, M. J. N. Contexto ambiental do enclave úmido da serra de Baturité – Ceará. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité.** Uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 19-33.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. Os Enclaves Úmidos e Subúmidos do Semiárido do Nordeste Brasileiro. **Mercator:** Fortaleza, v. 5, n. 9, p. 85-102, 2006.

SOUZA, N. S. V. **Potencialidade da APA da serra de Meruoca - CE como sumidouro natural de carbono.** Dissertação (Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024.

STURION, J. A.; BELLOTE, A. F. J. Implantação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento. In: GALVAO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais.** Brasília: Embrapa, 2000.

WMO - *World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2022.* Geneva: WMO, 2023.

UNEP - *United Nations Environment Programme. The Emissions Gap Report 2012.* Nairobi: UNEP, 2012.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. What is mitigation? Disponível em: <<https://unfccc.int/topics/introduction-to-mitigation>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

XAVIER, R. L.; MENEZES, D. B.; SILVA, F. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando dados do MapBiomas: uma abordagem manual para aumento de precisão aplicada em Meridiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 1992-2007. 2024.

TNC - The Nature Conservancy Brasil. **Relatório Anual 2023.** São Paulo: TNC-Brasil. 2023.

### **Sobre o livro**

Imagen da Capa Gerada através de IA  
Capa, Projeto Gráfico e Diagramação Jéfferson Ricardo Lima Araujo Nunes  
Formato 15 x 21 cm  
Tipologias Utilizadas Lato 12/14 pt

Esta obra digital contém uma coletânea de artigos que foram produzidos a partir dos resultados das dissertações concluídas no Mestrado Profissional em Climatologia (MPClimatologia) da Universidade Estadual do Ceará (UECE). São nove artigos que apresentam os resultados de pesquisas científicas que investigaram os efeitos da variabilidade e das mudanças climáticas no semiárido cearense, incluindo as discussões sobre observações, os impactos e sobre as possíveis medidas de adaptação e mitigação desses efeitos que tem como consequências desastres naturais nas comunidades desta região.

Todos os artigos selecionados para compor esta obra digital (e-book) foram selecionados por uma comissão de avaliação, coordenada pelos Professores Emerson Mariano da Silva e José Maria Brabo Alves (MPClimatologia/UECE), contando com a colaboração dos professores: Madson Tavares Silva (UFCG), João Hugo Baracuy da Cunha Campos (UEPB), Lindenbergr Lucena da Silva (AESPA/PB) e Fabrício Daniel dos Santos Silva (UFAL).

ISBN 978-65-268-0083-6



9 786526 800836

