

Analysis of Temporal Trends of Climate Variable in Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, from 2014 to 2023: Implications for Climate Change

Bruna Araujo Candeia*, Josiclêda Domiciano Galvincto**

*Universidade Federal da Paraíba e-mail: bruna.acandeia@gmail.com

**Universidade Federal de Pernambuco
Received 22 July; accepted 17 September.

ABSTRACT

The study analyzes the temporal trends of certain climate variables in the municipality of Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco, from 2014 to 2023, focusing on the implications of local climate change. Daily data on minimum, maximum, and average temperatures, as well as precipitation, were examined and correlated with carbon dioxide (CO₂) levels. Using statistical methods such as linear regression analysis and scatter plots, the research identified patterns and trends in the studied climate variables. The results indicate an increase in CO₂ levels, while temperature and precipitation variations show seasonal fluctuations without a clear trend of increase or decrease. The analysis revealed weak correlations between CO₂ levels and minimum, maximum, and average temperatures, as well as precipitation. Understanding these trends is essential for developing mitigation and adaptation strategies to climate change in the region, contributing to the formulation of public policies and local environmental management. This study provides a solid scientific basis for understanding environmental changes in Cabo de Santo Agostinho, highlighting the vulnerability of coastal wetlands to climate change and the need for effective actions to protect ecosystems and local communities.

Keywords: Climate trends. Statistical analysis. Adaptation. Mitigation. Environmental management.

Análise das Tendências Temporais de Variáveis Climáticas no Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, no período de 2014 a 2023: Implicações para as Mudanças Climáticas Locais

RESUMO

O estudo analisa as tendências temporais de algumas variáveis climáticas no município do Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco, no período de 2014 a 2023, com foco nas implicações das mudanças climáticas locais. Foram examinados dados diários de temperatura mínima, máxima e média, além de precipitação, correlacionados com os níveis de dióxido de carbono (CO₂). Utilizando métodos estatísticos, como análise de regressão linear e gráficos de dispersão, a pesquisa identificou padrões e tendências nas variáveis climáticas estudadas. Os resultados indicam um aumento nos níveis de CO₂, enquanto as variações de temperatura e precipitação apresentam flutuações sazonais sem uma tendência clara de aumento ou diminuição. A análise revelou correlações fracas entre os níveis de CO₂ e as temperaturas mínimas, máximas e médias, assim como com a precipitação. A compreensão dessas tendências é essencial para desenvolver estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas na região, contribuindo para a formulação de políticas públicas e a gestão ambiental local. Este estudo oferece uma base científica sólida para entender as alterações ambientais no Cabo de Santo Agostinho, ressaltando a vulnerabilidade das zonas úmidas costeiras às mudanças climáticas e a necessidade de ações efetivas para proteger os ecossistemas e as comunidades locais.

Palavras-Chave: Tendências climáticas. Análises estatísticas. Adaptação. Mitigação. Gestão Ambiental.

1. Introdução

A natureza sustenta as sociedades e as economias, sejam elas abaixo da água ou acima, na terra. No entanto, essa mesma natureza e a sua biodiversidade encontram-se sob enorme pressão. De acordo com Inger Andersen, Diretor Executivo do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), 2023 foi um ano de recordes quebrados, recordes de emissões de gases de efeito estufa, recordes de temperaturas caindo e recordes de impactos climáticos chegando mais fortes e rápidos. Esta enorme pressão, alarmante, destaca a necessidade urgente de ampliar nosso conhecimento sobre as mudanças climáticas, seus impactos e riscos generalizados e a mitigação e adaptação à mudança do clima (PNUMA, 2024).

Hoje, aproximadamente 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas vivem em situações altamente suscetíveis à mudança do clima. A suscetibilidade humana e dos ecossistemas estão correlacionadas. Regiões e pessoas com consideráveis restrições ao desenvolvimento têm alta vulnerabilidade às ameaças climáticas. O aumento de eventos meteorológicos e climáticos extremos expôs milhões de pessoas à insegurança alimentar aguda, e reduziu a segurança hídrica, com os maiores impactos adversos observados em muitos locais e/ou comunidades na África, Ásia, América Central e do Sul, LDCs, Pequenas Ilhas e Ártico, e globalmente para os povos indígenas, pequenos produtores de alimentos e famílias de baixa renda. Entre 2010 e 2020, a mortalidade humana causada por enchentes, secas e tempestades foi 15 vezes maior em regiões altamente vulneráveis, em comparação com regiões de vulnerabilidade muito baixa (IPCC, 2023).

Estudar as variáveis climáticas é essencial, justamente, para ampliar nosso conhecimento sobre as mudanças climáticas, seus impactos adversos generalizados, e perdas e danos relacionados, à natureza e às pessoas. O aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera, por exemplo, amplamente reconhecido como um dos principais gases de efeito estufa, tem sido associado ao aquecimento global e às mudanças climáticas. Analisar essas variáveis em regiões específicas é crucial para entender as dinâmicas locais e desenvolver estratégias de adaptação e mitigação em microescala, conforme aponta na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (Nações Unidas Brasil, 2015).

Este artigo visa analisar os dados de temperatura (mínima, máxima e média) e precipitação ao longo do tempo, correlacionando essas variáveis com os níveis de CO₂, a fim de identificar possíveis tendências e padrões. A análise estatística será utilizada para verificar a significância das tendências observadas nos dados. Esta abordagem permite avaliar a presença de tendências de longo prazo nas variáveis climáticas e nos níveis de CO₂, fornecendo uma base científica sólida para entender as

alterações ambientais na região do Cabo de Santo Agostinho, em Pernambuco, Brasil.

Esta região costeira e úmida é particularmente vulnerável às mudanças climáticas. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) (2023) as zonas úmidas costeiras estão enfrentando desafios como: a elevação do nível do mar, mudanças nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas. Analisar as tendências temporais da temperatura, precipitação e níveis de CO₂ em regiões como estas, fornecerá uma compreensão abrangente das mudanças climáticas locais e suas implicações.

Logo, compreender essas tendências no Cabo de Santo Agostinho é crucial, pois essa área representa muitas outras regiões costeiras em todo o mundo que enfrentam pressões ambientais similares. Os resultados deste estudo podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de gestão ambiental que visem mitigar os impactos das mudanças climáticas e proteger os ecossistemas locais e as comunidades humanas que deles dependem.

2. Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada na Zona da Mata Sul Pernambucana e compõe a Região Metropolitana do Recife – Brasil, com sede registrada na coordenada geográfica -8,29° Sul de latitude e -35,03° Oeste de longitude e limitado a Norte pelos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Moreno, a Sul por Ipojuca e Escada, a Oeste por Vitória de Santo Antão e Leste pelo Oceano Atlântico (IBGE, 2024).

Com área territorial de 445,386 km² e 43,47 km² de área urbanizada, sendo a segunda maior área territorial (IBGE, 2024) e quarta maior área urbanizada (IBGE, 2014) da região geográfica imediata a qual faz parte, 260001 – Recife, constituída por 15 municípios: Araçoiaba, Paudalho, Itapissuma, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Abreu e Lima, Paulista, Olinda, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Recife, Moreno, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (IBGE, 2018), além disso no critério área urbanizada também é a sexta maior do Estado (IBGE, 2014).

De acordo com o Censo de 2022 a população residente da cidade é de 203.440 provocando uma densidade demográfica de 456,77 habitante por km², quinta maior população da região geográfica imediata e sétima maior do Estado (IBGE, 2024). No que diz respeito a sua economia, o Produto Interno Bruto (PIB) corresponde a R\$ 13.706.388,877 e PIB *per capita* e R\$ 65.022,05 no ano de 2021, colocando o município na quarta e quinta, respectivamente, posição de relevância no Estado (IBGE, 2024).

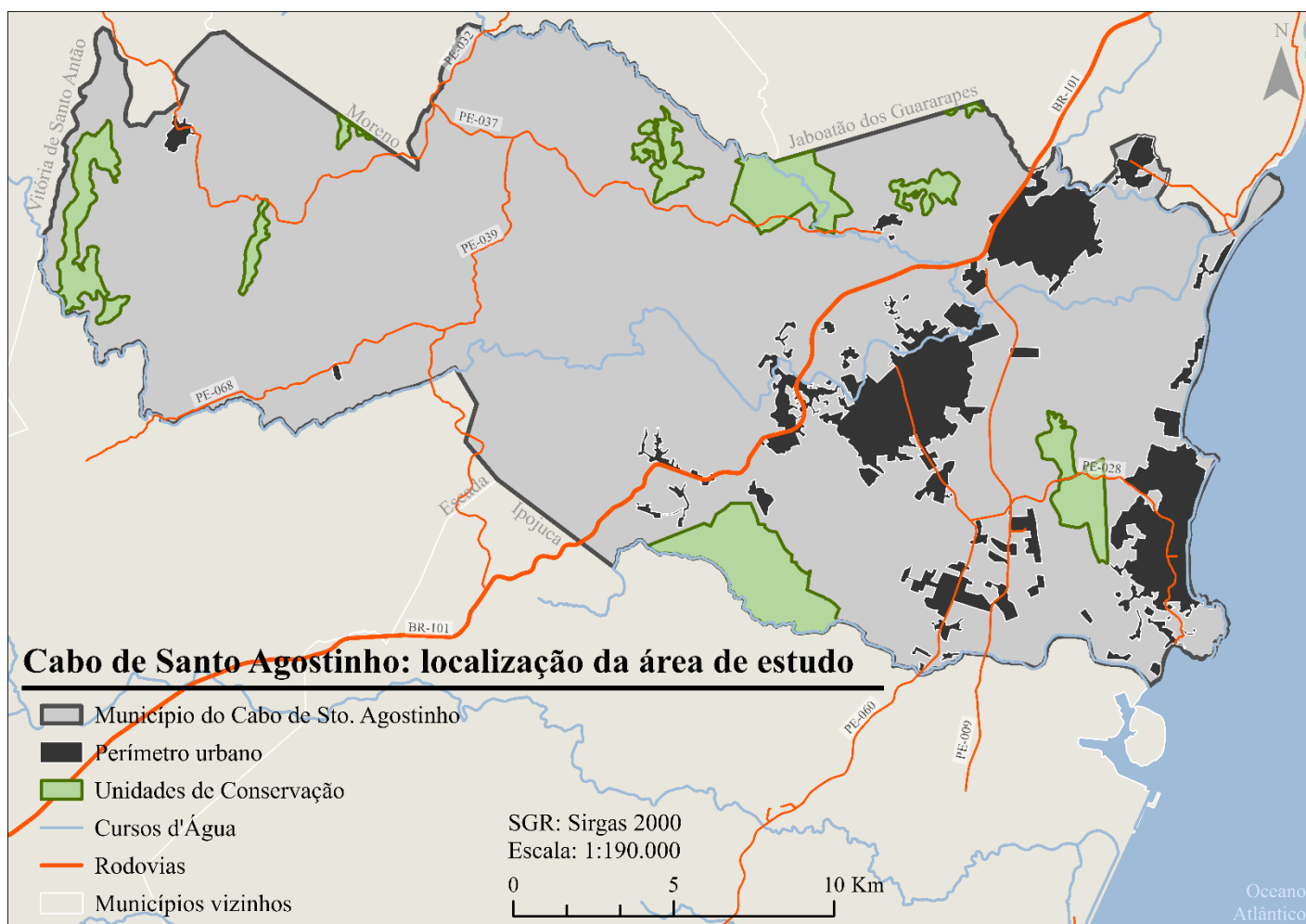


Figura 1 – Localização da área de estudo, cidade de Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil.

Procedimento Metodológicos

Para realização desta pesquisa, foram utilizados recursos tecnológicos de hardware pessoais: Notebook Dell Vostro 15 5510, processador 11th Gen Intel® Core™ i7-11390H @ 3.40GHz 2.92 GHz, 16 GB RAM, NVMe IM2P33F3A NVMe ADATA 512GB, Sistema Operacional 64 bits Windows 11 Pro 23H2. Quanto ao conjunto de softwares utilizados: Microsoft Office 365 Word e Excel.

Os procedimentos metodológicos estão apresentados na Figura 2, sendo dedicada a aquisição dos dados, tratamento, processamento e análises dos resultados.

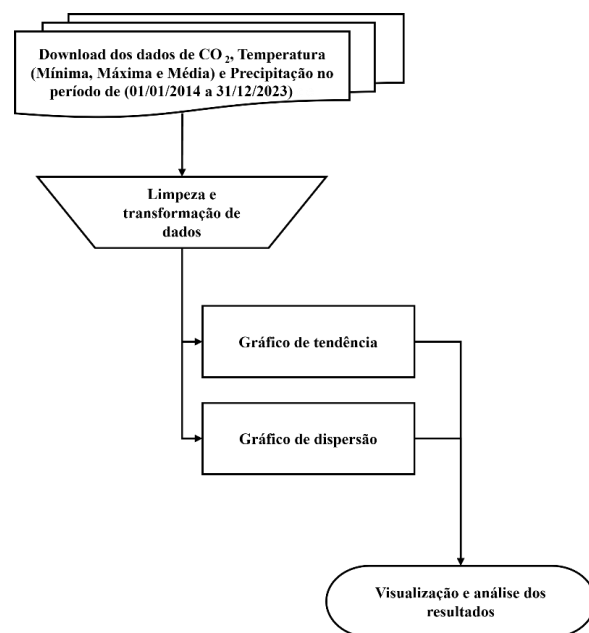


Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada.

Aquisição, Tratamento e Processamento dos Dados

As tendências globais do dióxido de carbono atmosférico, trata-se de valores diários estimados da tendência global determinadas a partir de medições do Laboratório de Monitoramento Global da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Foram adquiridas tendências no intervalo de 01 de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2023. Para obtenção das tendências globais é necessário acessar o site (https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_data.html) da NOAA. O download é gratuito e não é necessário realizar cadastro no site.

A pluviometria, trata-se de valores diários do posto 490 – Cabo (Barragem de Gurjaú) determinados a partir de medições da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Foram adquiridas medições no intervalo de 01 de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2023. O posto 490 – Cabo (Barragem de Gurjaú) corresponde a um dos postos abarcados pela Unidade de Planejamento Hídrico UP15, que corresponde ao grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 - GL2, formado por rios que desembocam no Oceano Atlântico. A rede hidrográfica do GL2 é composta basicamente pelos rios Jaboatão e Pirapama, com seus afluentes, à exceção de suas porções nordeste e sudeste, que são representadas pelos estuários dos rios Tejiptio e dos rios Massangana e Tatuoca, respectivamente. O rio Pirapama, com uma extensão de cerca de 71 km e cuja foz se encontra no estuário do rio Jaboatão, ocupa grande destaque no grupo GL2, tendo como principais afluentes, pela margem esquerda, os rios Araribe e Cajabuçu, arroio Dois Rios e rio Gurjaú. Este último é o mais importante, por possuir o manancial que abastece Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho (APAC, 2024), área de estudo da pesquisa. Para obtenção das medições é necessário acessar o site (<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>) da APAC. O download das medições é gratuito e podem ser selecionadas de acordo com alguns parâmetros, tais como, tipo de visualização, data de início e fim, mesorregião e posto.

A temperatura mínima, máxima e média, trata-se de valores diários da estação Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 6419 coletadas a partir do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico – Agritempo. Foram adquiridas medições no intervalo de 01 de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2023. A estação TRMM 6419 corresponde a uma das três estações existentes no município de Cabo de Santo Agostinho, sendo utilizada em primeiro momento devido a sua série histórica de medições abranger o período desejado pela pesquisa e secundamente a sua proximidade com a área urbanizada do município. Para obtenção das medições é necessário acessar o site (<https://www.agritempo.gov.br/br/estado/PE/pesquisa/>) do Agritempo. O download das medições é gratuito e

podem ser selecionadas de acordo com alguns parâmetros, tais como, cidade, estação meteorológica, data de início e data de término.

O gráfico de tendência corresponde a um gráfico simples, em coordenadas cartesianas, o qual descreve o comportamento de uma variável ao longo do tempo ou em função de outra variável. E é utilizado principalmente para identificar tendências de comportamento, dando assim uma perspectiva de eventos e/ou compreensão dos problemas em estudo (Lins, 1993).

O gráfico de dispersão é a forma padrão de visualizar a interdependência entre duas variáveis de dados. Sendo o eixo x a representação de uma variável, o eixo y, a representação de outra, e cada ponto no gráfico um registro (Bruce & Bruce, 2019). Sob o gráfico de dispersão é possível plotar a linha de tendência, a fim de visualizar a tendência, como o próprio nome faz referência, dos dados ao longo do tempo e assim quantificar a natureza desse relacionamento, ou seja, se os dados possuem uma inclinação positiva, negativa ou se não há tendência significativa.

A fórmula matemática utilizada para representar a linha de tendência é baseada na regressão linear simples. A regressão linear simples estima exatamente o quanto y mudará quando x mudar em uma certa quantidade, com isso tenta-se prever a variável y a partir de x através de um relacionamento linear. A equação 1 descreve a fórmula geral da linha de tendência (Bruce & Bruce, 2019):

$$y = b_0 + b_1x \quad (1)$$

Onde:

- y: é a variável dependente;
- b_0 : é o intercepto (ou constante);
- b_1 : é o declive para x; e
- x: é a variável independente.

Todos os cálculos envolvidos nessa pesquisa foram realizados por meio da ferramenta Microsoft® Excel® 365 versão 2405. Para análise dos resultados foram criados 5 gráficos de tendência e 4 gráficos de dispersão com suas respectivas linhas de tendência, equação e valor de R-quadrado.

3. Resultados e discussões

A análise de tendência das variáveis CO₂, Temperatura Mínima, Temperatura Máxima, Temperatura Média e Precipitação no período de 2014 a 2023 estão apresentados nas Figuras 3-7.

A Figura 3 mostra a evolução dos níveis de CO₂ ao longo do tempo, e é possível perceber uma tendência clara de aumento nos níveis de CO₂ ao longo dos anos de 2014 a 2023. Consistente com o aumento global dos

níveis de CO₂, associado principalmente a atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento.

As Figuras 4, 5 e 6 demonstram a variação da temperatura mínima, máxima e média, respectivamente, entre os anos de 2014 e 2023. Seja na temperatura mínima, máxima ou média, percebeu-se uma flutuação sazonal, com picos e vales regulares o que pode estar relacionado a mudanças sazonais e eventos climáticos. Além disso a tendência geral pode ser analisada, no entanto não há uma tendência clara de aumento ou diminuição imediatamente visível, sendo interessante realizar análises estatísticas mais profundas e/ou

análises em intervalos específicos a fim de detectar possíveis tendências a longo prazo na região.

Na Figura 7 temos a variação da precipitação (mm) entre os anos de 2014 e 2023. No que diz respeito a análise da precipitação é possível visualizar variações significativas com picos e vales pronunciados. No entanto não há uma tendência clara de aumento ou diminuição ao longo do tempo. Além disso, a precipitação é frequentemente influenciada por uma variedade de fatores climáticos e meteorológicos, que podem mascarar tendências de longo prazo.

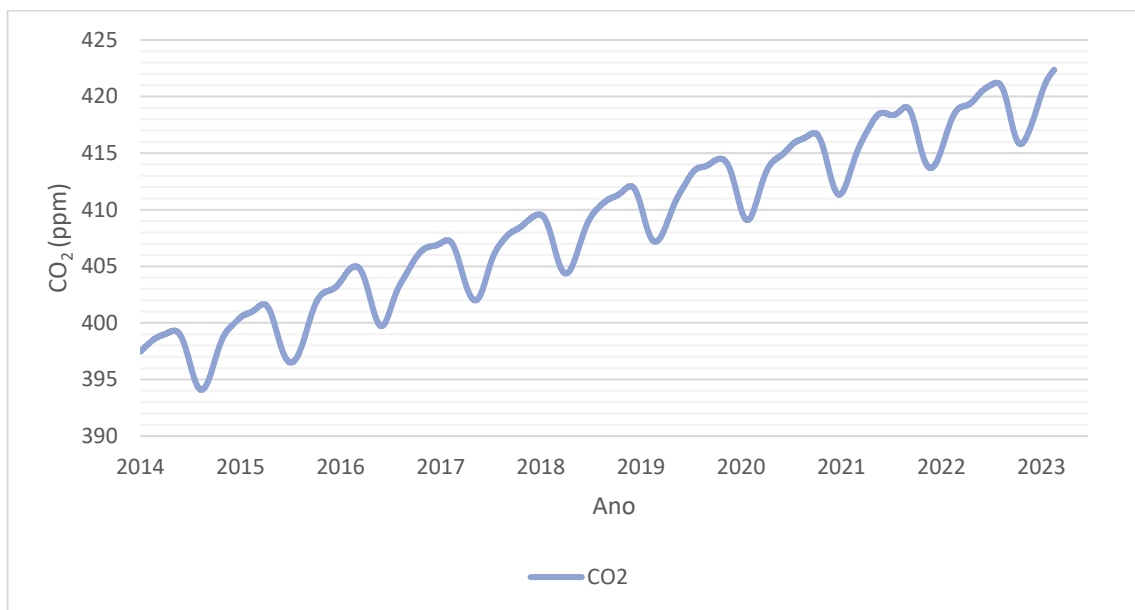


Figura 3 – Evolução dos níveis de CO₂ (ppm) no período de 2014 a 2023.

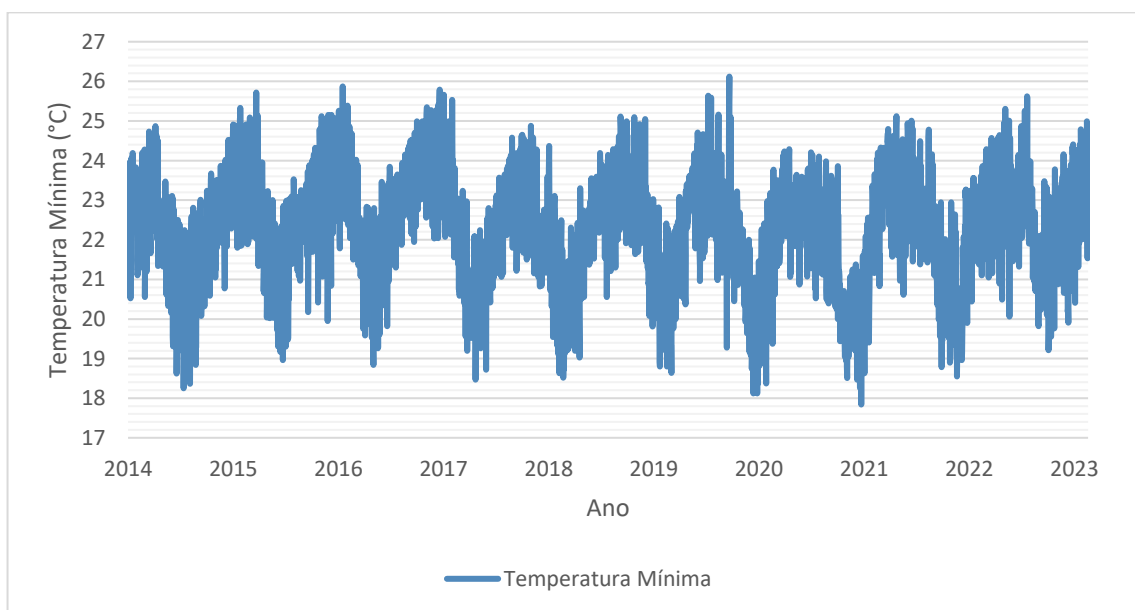


Figura 4 – Variação da temperatura mínima (°C) no período de 2014 a 2023.

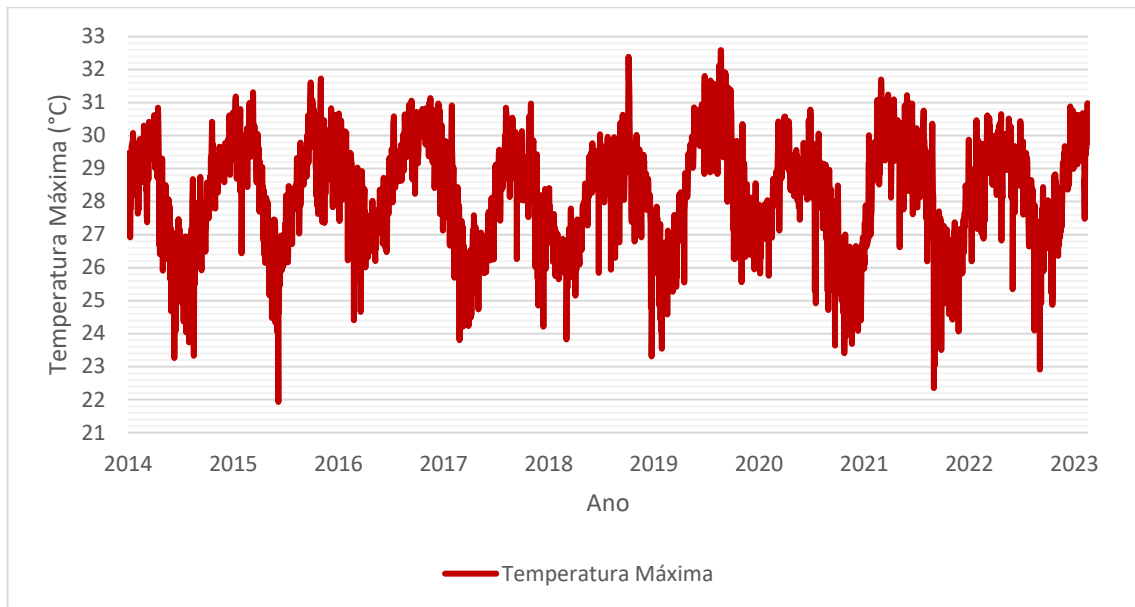


Figura 5 – Variação da temperatura máxima (°C) no período de 2014 a 2023.

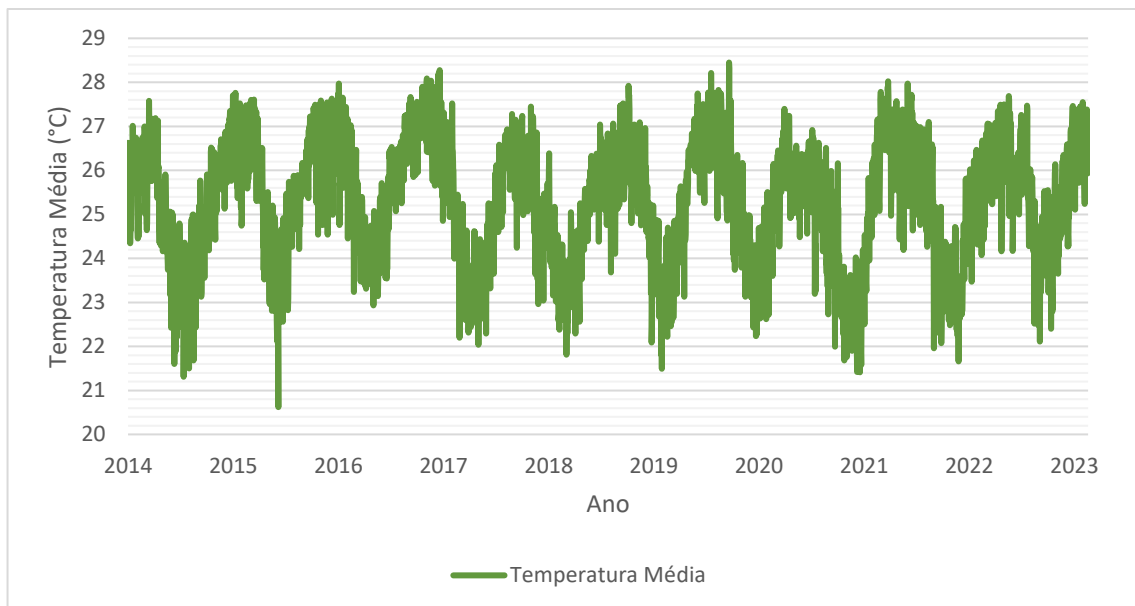


Figura 6 – Variação da temperatura média (°C) no período de 2014 a 2023.

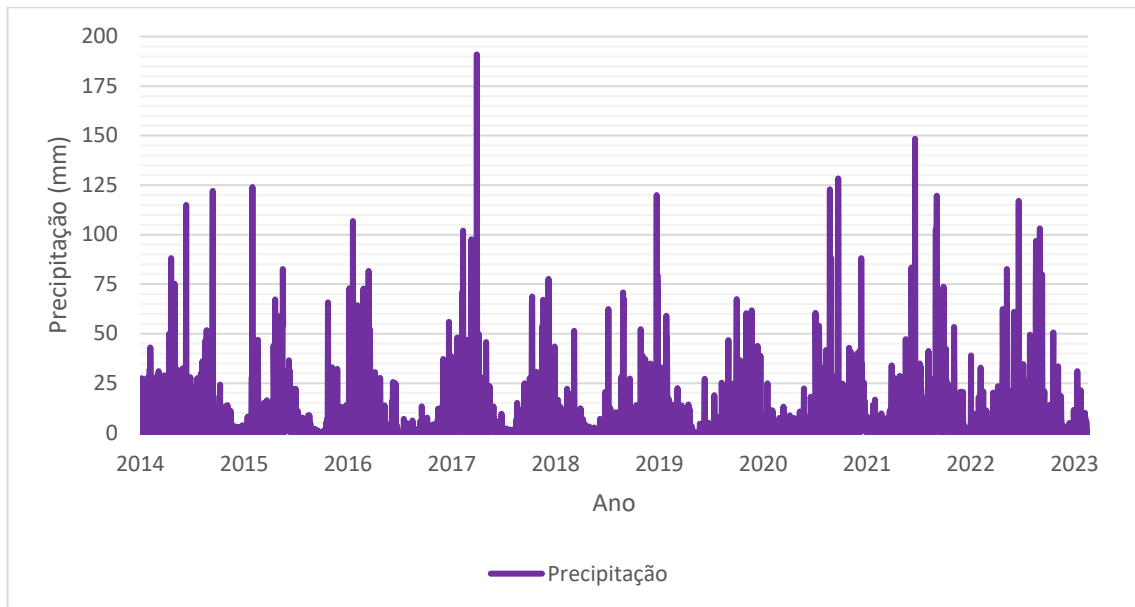


Figura 7 – Variação da precipitação (mm) no período de 2014 a 2023.

A partir dos gráficos de tendência foram realizadas análise de dispersão, regressão e correlação linear, em todos os casos o CO₂ foi caracterizado como variável independente, ou seja, busca-se entender o quanto a temperatura (mínima, máxima e média) e a precipitação mudará quando o CO₂ mudar em uma certa quantidade.

A análise de regressão busca analisar dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população. O coeficiente de correlação (R^2) mede o grau de relacionamento entre duas variáveis. Assim, o perfeito

ajustamento das observações deve ter intercepto igual a 0 e uma inclinação (coeficiente de correlação – R^2) igual a 1 ou 45°.

A equação da linha de tendência, observada na Figura 8, indica que, para cada aumento de 1 parte por milhão (ppm) de CO₂, a temperatura mínima aumenta em média 0,0171 graus. O valor de $R^2 = 0,0072$ significa que apenas 0,72% da variação na temperatura mínima pode ser explicada pela variação dos níveis de CO₂. Logo, existe uma correlação muito fraca entre as variáveis CO₂ e temperatura mínima nas presentes condições estudadas.

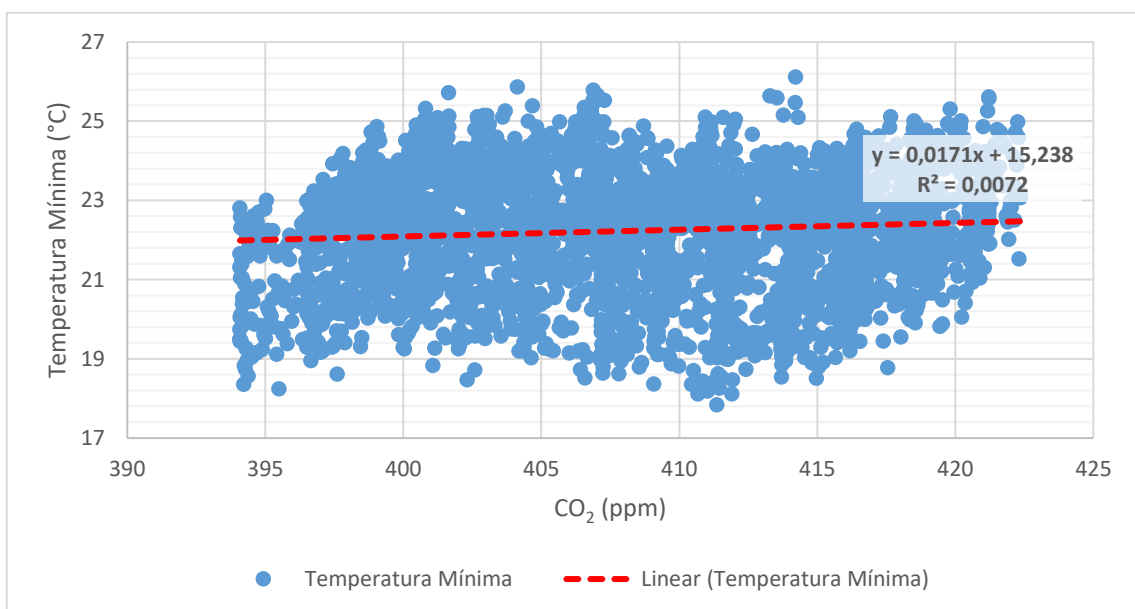


Figura 8 – Relação entre os níveis de CO₂ e a Temperatura Mínima (°C) nos anos 2014 a 2023.

A Figura 9 explicita a relação entre o CO₂ e a temperatura máxima entre 2014 e 2023. A equação da linha de tendência indica que, para cada aumento de 1

ppm de CO₂, a temperatura máxima aumenta em média 0,0332 graus. O valor de $R^2 = 0,0232$ significa que apenas 2,32% da variação na temperatura máxima pode

ser explicada pela variação dos níveis de CO₂. Logo, a correlação entre CO₂ e temperatura máxima é extremamente fraca nas condições estudadas.

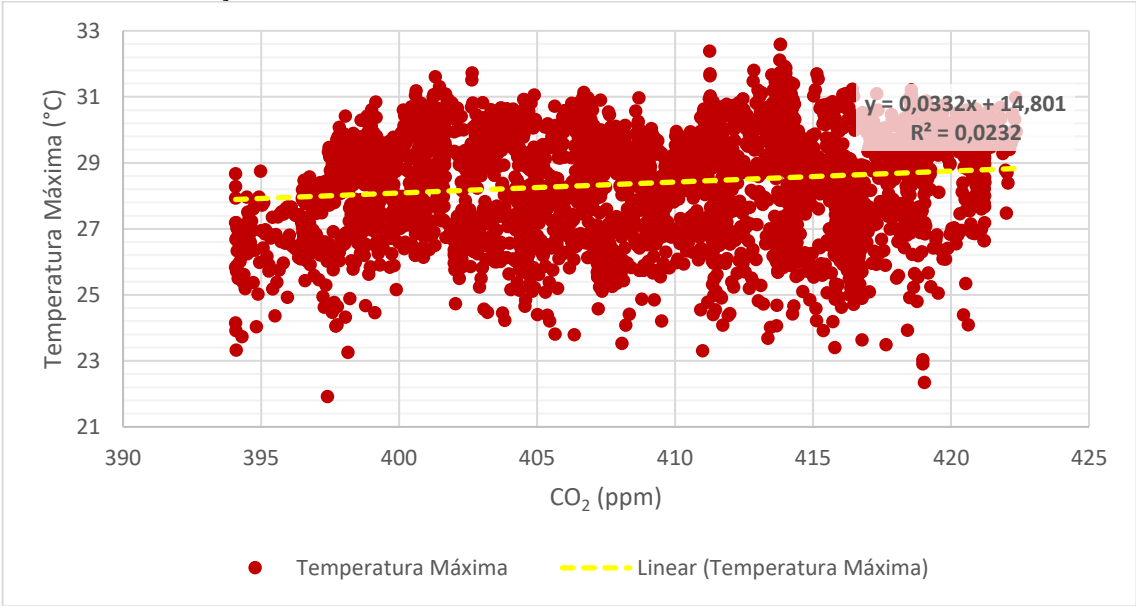


Figura 9 – Relação entre os níveis de CO₂ e a Temperatura Máxima (°C) nos anos 2014 a 2023.

A Figura 10 apresenta a relação entre o CO₂ e a temperatura média entre 2014 e 2023. A equação da linha de tendência indica que, para cada aumento de 1 ppm de CO₂, a temperatura média aumenta em média 0,0252 graus. O valor de R² = 0,0168 significa que

apenas 1,68% da variação na temperatura média pode ser explicada pela variação dos níveis de CO₂. Isso também indica uma correlação muito fraca entre CO₂ e temperatura média nas condições estudadas.

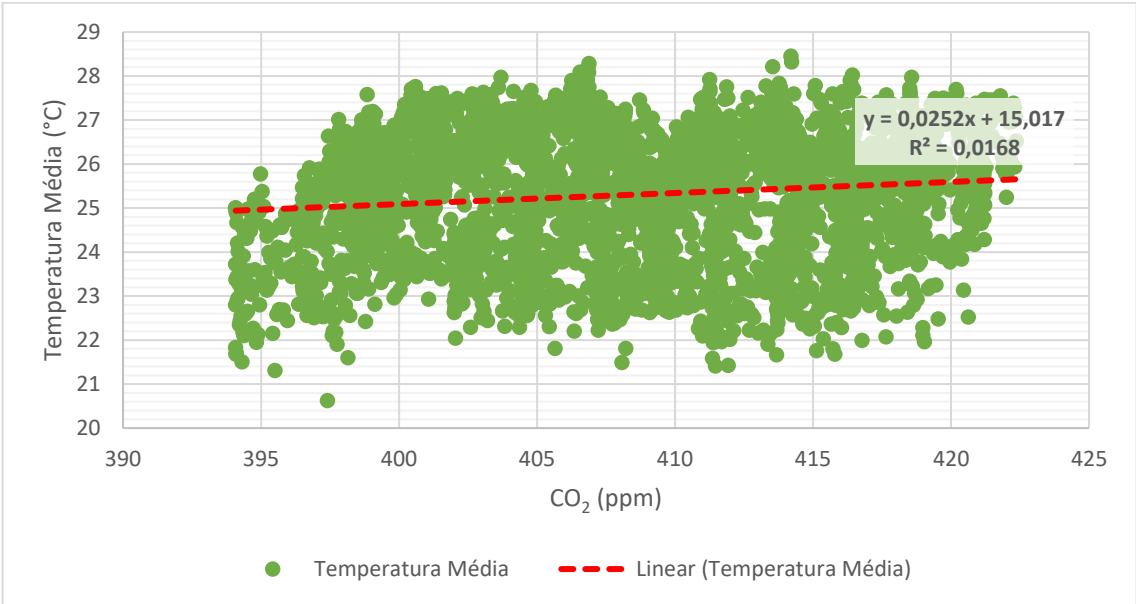


Figura 10 – Relação entre os níveis de CO₂ e a Temperatura Média (°C) nos anos 2014 a 2023.

Por último, na Figura 11, é avaliada a relação entre o CO₂ e precipitação entre 2014 e 2023. A equação da linha de tendência indica que, para cada aumento de 1 ppm de CO₂, a precipitação diminui em média 0,0852 milímetros. O valor de R² = 0,002 significa que apenas

0,20% da variação na precipitação pode ser explicada pela variação dos níveis de CO₂. Consequentemente, tem-se uma correlação muito fraca entre CO₂ e precipitação nas condições estudadas.

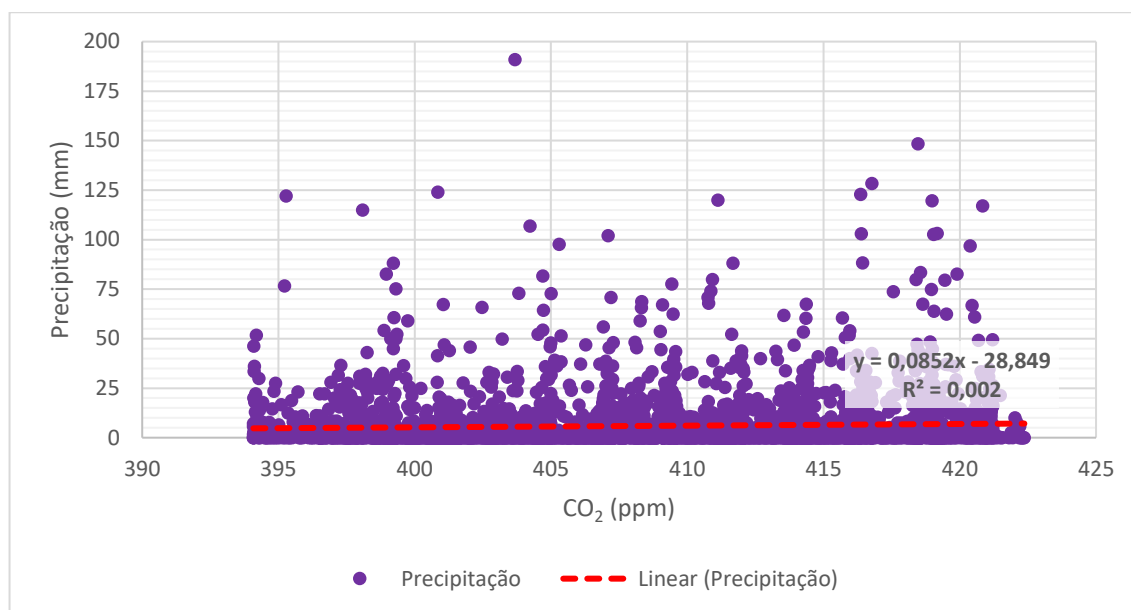


Figura 11 – Relação entre os níveis de CO₂ e a Precipitação (mm) nos anos 2014 a 2023.

Conclusões

Os resultados deste estudo fornecem uma análise detalhada das tendências temporais de variáveis climáticas no município do Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, no período de 2014 a 2023. O objetivo inicial da pesquisa foi identificar padrões e tendências em variáveis climáticas específicas e correlacionar esses dados com os níveis de CO₂, a fim de compreender melhor as implicações das mudanças climáticas locais.

Os achados indicam um aumento contínuo nos níveis de CO₂, consistente com tendências globais atribuídas a atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento. No entanto, as variações de temperatura mínima, máxima e média, bem como de precipitação, exibem flutuações sazonais sem uma tendência clara de aumento ou diminuição. A análise estatística revelou correlações fracas entre os níveis de CO₂ e as temperaturas e precipitação, sugerindo que outros fatores climáticos e meteorológicos podem estar influenciando significativamente essas variáveis.

Esses resultados são fundamentais, considerando a urgência de ampliar nosso conhecimento sobre as mudanças climáticas e seus impactos. A zona úmida costeira do Cabo de Santo Agostinho, sendo particularmente vulnerável às mudanças climáticas, enfrenta desafios significativos, como a elevação do nível do mar, mudanças nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas. Este estudo contribui para uma melhor compreensão dessas dinâmicas locais, oferecendo uma base científica que pode apoiar a formulação de políticas públicas e estratégias de gestão ambiental.

A importância dos resultados é reforçada pela necessidade de desenvolver estratégias eficazes de

mitigação e adaptação às mudanças climáticas, conforme apontado pelo PNUMA, IPCC, Agenda 2030, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e tantos outros órgão e entidades mundiais. A identificação de padrões e tendências climáticas locais permite uma abordagem mais precisa e contextualizada para enfrentar os desafios ambientais, protegendo tanto os ecossistemas quanto as comunidades humanas que dependem deles. Assim, o estudo não apenas alcança seu objetivo declarado, mas também ressalta a necessidade contínua de monitoramento e pesquisa para promover a sustentabilidade ambiental e a resiliência climática na região.

Referências

- APAC. Bacias Hidrográficas – GL 2. APAC, 2024. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-gl-2/185-bacias-hidrograficas-gl-2/223-gl-2>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- Bruce, P.; Bruce, A. Estatística Prática para Cientistas de Dados: 50 conceitos essenciais. Alta Books, Rio de Janeiro, 2019.
- IBGE. Cidades@ - Cabo de Santo Agostinho, PE. IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabo-de-santo-agostinho/panorama>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- IBGE. Cidades@ - Recife, PE: Produto Interno Bruto dos Municípios. IBGE, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/pesquisa/38/47001?tipo=ranking&indicador=46997>. Acesso em: 29 mar. 2024.
- IBGE. Mapa – Regiões Geográficas: Estado de Pernambuco. IBGE, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/divisao_regional/divisao_regional_do_brasil/divisao_regional_do_brasil_em_regioes_geograficas_201

- 7/mapas/26_regioes_geograficas_pernambuco_2018_0911.pdf. Acesso em: 29 mar. 2024.
- IBGE. Mapa Municipal – Cabo de Santo Agostinho – PE. IBGE, 2024. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_municipais/colecao_de_mapas_municipais/2022/PE/cabo_de_santo_agostinho/A0_2602902_MM.pdf. Acesso em: 29 mar. 2024.
- IPCC. Mudança do Clima 2023 – Relatório Síntese. IPCC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 31 mar. 2024.
- Lins, B. F. E. Ferramentas básicas da qualidade. Ciência e Informação, Brasília, 22, 2, 1993. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/502/502>. Acesso em 29 mar. 2024.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Brasília, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- PNUMA. Keeping the promise - Annual Report 2023. PNUMA, 2024. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/4477>. Acesso em: 31 mar. 2024.