

Organização e visualização de dados pluviométricos históricos para o observatório climático de São Vicente

Ana Beatriz Rodrigues Chagas¹, Fabiana Andrade¹, Gabriella S. Saraiva¹, Kelvin Marcelo¹, Thiago Monteiro¹

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades — Universidade de São Paulo (EACH-USP) — São Paulo, SP — Brasil

anabeatrizchagas@usp.br, fabiana.barroso@usp.br, kelvin.marcelo@usp.br, gabriella_saraiva@usp.br, thiagosmm@usp.br

Abstract. This paper describes the methodology for organizing and visualizing historical pluviometric data from DAEE, focusing on São Vicente, Brazil. The main goal was to prototype a climate data module within the Ecologuia electronic guide to promote climate literacy and support risk management. Statistical analysis revealed significant variability in rainfall patterns and an intensification of extreme events, notably a peak in the São Vicente station in 2020. The module, prototyped in Bubble, provides transparent access to graphs and metrics, transforming raw data into a decision support tool. This work establishes a technical foundation for expanding the project's extreme events catalog, contributing to the city's resilience.

Resumo. Este trabalho descreve a metodologia para organização e visualização de dados pluviométricos históricos do DAEE, focando em São Vicente (SP). O objetivo foi criar uma seção de dados climáticos no guia eletrônico Ecologuia para promover o letramento climático e apoiar a gestão de riscos. A análise revelou a variabilidade dos padrões de chuva e a intensificação de eventos extremos, com picos notáveis, como na estação São Vicente em 2020. O módulo prototipado no Bubble permite a consulta transparente de gráficos e métricas, transformando dados brutos em ferramenta de apoio à decisão. O produto final é uma fundação técnica para a expansão do catálogo de eventos extremos do projeto, fortalecendo a resiliência da cidade.

1. Introdução

O avanço das mudanças climáticas globais e a intensificação de eventos hidrometeorológicos extremos configuram desafios críticos para a resiliência e sustentabilidade de cidades costeiras. No Brasil, o município de São Vicente (SP), localizado na Baixada Santista, apresenta elevada vulnerabilidade socioambiental em razão da ocupação intensiva de áreas de baixa altitude, da supressão de ecossistemas de proteção natural e da proximidade com atividades econômicas e portuárias estratégicas [Peres et al. 2020]. Esse contexto torna a região particularmente exposta à elevação do nível relativo do mar, ao aumento da frequência e intensidade de ressacas, às inundações costeiras e aos impactos decorrentes de chuvas extremas [Tribuna 2025].

A gestão preventiva desses riscos, fundamental para o planejamento urbano e a segurança pública, depende de uma compreensão sólida dos padrões históricos de

precipitação. Contudo, observa-se um entrave recorrente: a inexistência de um repositório centralizado, estruturado e de fácil consulta que reúna séries temporais extensas de dados climáticos. Essa lacuna dificulta que gestores, pesquisadores e a população identifiquem rapidamente tendências pluviométricas e reconheçam eventos anômalos.

Diante dessa necessidade, este trabalho se insere no âmbito do Projeto Ecologuia — um guia eletrônico dedicado a promover Educação Ambiental e o letramento climático nas escolas municipais de São Vicente. Nesse cenário, a pesquisa focaliza a coleta, o tratamento e a prototipagem visual de dados pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)¹, com o objetivo de desenvolver um módulo acessível de informação climática integrado ao Ecologuia², capaz de apoiar o monitoramento de eventos extremos e ampliar a transparência sobre dados públicos.

A relevância desta iniciativa está ancorada em três eixos estratégicos. O primeiro refere-se ao fortalecimento do Governo Aberto e da Transparência, promovendo acesso à sociedade a séries históricas de dados públicos. O segundo diz respeito à urgência de enfrentar a Vulnerabilidade Climática local, na qual o monitoramento de precipitações intensas é essencial para prevenir desastres. Por fim, o terceiro eixo envolve o desenvolvimento de uma ferramenta de Apoio à Decisão e Conscientização, que transforma dados brutos em visualizações interpretáveis — como gráficos e indicadores estatísticos — facilitando a leitura de tendências e a detecção de anomalias pluviométricas.

Assim, o objetivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia completa para aquisição, processamento e visualização de dados pluviométricos, culminando na concepção de uma seção prototipada de dados climáticos no Ecologuia. Para isso, adota-se um processo sequencial que contempla: o levantamento e estruturação das séries temporais por estação; a construção de visualizações padronizadas (como gráficos de séries históricas e box plots para distribuição estatística); e o desenho de um catálogo digital que assegure consulta pública aos dados e aos produtos visualizados pela comunidade.

2. Conceitos Básicos

A análise da precipitação pluviométrica, dada a sua relevância direta na ocorrência de desastres hidrológicos, requer a definição precisa de termos e métricas essenciais para o monitoramento e a interpretação de eventos extremos. Esta seção estabelece os conceitos fundamentais que guiam o processamento e a visualização dos dados do DAEE no âmbito do sistema Ecologuia.

2.1. Precipitação Pluviométrica e Séries Temporais

A precipitação pluviométrica refere-se ao volume de água que cai sobre uma área em um determinado período, medida em milímetros (mm). Os dados utilizados neste trabalho são organizados em séries temporais diárias, provenientes das estações do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) localizadas na região de São Vicente. A análise destas séries temporais, com registros abrangendo longos períodos, permite identificar a variação e a intermitência dos dados. As estações de monitoramento analisadas incluem

¹Site oficial: <https://www.spaguas.sp.gov.br/site/>

²Repositório disponível em: <https://github.com/anthello/ecologuia?tab=readme-ov-file>

São Vicente (E3-056), Sales da Cruz (E3-064), Pai Matias (EFS) (E3-063), Humaita (E3-228), Engenheiro Ferraz (EFS) (E3-062) e duas variantes de Gaspar Ricardo (E3-065 e E3-066).

2.2. Normais Climatológicas

Para avaliar a intensidade das chuvas em diferentes escalas de tempo, utilizam-se as normais climatológicas de precipitação. Este conceito representa a média de um elemento climático para um determinado período. No contexto deste trabalho, foram calculadas as médias de precipitação para o período total registrado por cada estação, as médias decenais (a cada 10 anos) e as médias de três décadas. Estas médias fornecem uma base estatística para a compreensão da variabilidade climática local, sendo o recorte de dados por década limitado pela disponibilidade em algumas estações.

2.3. Análise Estatística

Neste trabalho, a análise de precipitação foi realizada sob duas perspectivas complementares:

1. **Recortes de Precipitação Diária:** Foca na frequência anual de dias com precipitações diárias acima de limiares críticos: 50mm, 100mm e 150mm.
2. **Análise por Percentis:** Utiliza a distribuição estatística de dados diários para definir limiares de raridade, classificando eventos conforme sua intensidade. Os percentis definidos e analisados são:
 - P90 (*"Muito Chuvoso"*): Geralmente entre 20mm e 30mm.
 - P95 (*"Extremamente Chuvoso"*): Geralmente entre 40mm e 60mm.
 - P99 (*"Excepcional"*): Considerado acima de 100mm.

3. Materiais e Métodos

A seguir, é apresentada a metodologia adotada para a aquisição, tratamento, análise e prototipagem visual dos dados pluviométricos, em conformidade com o objetivo de desenvolver a seção de dados climáticos no sistema Ecologia.

3.1. Materiais e Aquisição de Dados

O material primário utilizado neste estudo consistiu em séries temporais de precipitação diária para as estações pluviométricas localizadas na região de São Vicente. Estes dados brutos foram fornecidos pelas professoras Dr^a. Márcia Akemi Yamasoe e Dr^a. Rita Yuri Inouye, ambas vinculadas ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmósfericas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), que atuaram como colaboradoras do projeto, oferecendo suporte técnico e direcionamento analítico na interpretação preliminar das séries. Os dados originais, como mencionado, são provenientes da rede de monitoramento do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo e estão disponíveis no repositório do projeto em: <https://github.com/saraiva03/analise-precipitacao-sao vicente/tree/master/data>.

O conjunto de dados abrange registros de diversas estações, incluindo São Vicente (E3-056), Sales da Cruz (E3-064), Pai Matias (EFS) (E3-063), Humaita (E3-228), Engenheiro Ferraz (EFS) (E3-062), e as duas estações de Gaspar Ricardo (E3-065 e E3-066).

3.2. Métodos de Tratamento e Análise de Dados

A metodologia de processamento dos dados seguiu as etapas descritas abaixo:

Tratamento e Estruturação de Dados: Os dados brutos passaram por um processo de limpeza, estruturação e visualização, com a criação de gráficos e mapas por meio de scripts desenvolvidos em linguagem Python, a fim de gerar o material necessário para a análise. Todo o código fonte, os dados brutos e estruturados para análise encontram-se documentados no repositório do projeto³

Análise Estatística e Visualização: Com os dados estruturados, foram gerados indicadores estatísticos e visuais para a análise dos padrões de chuva e eventos extremos:

1. **Normais Climatológicas:** Cálculo das médias de precipitação para diferentes períodos (período total, decenal e tri-decenal), para contextualizar a variabilidade histórica.
2. **Recortes de Alta Precipitação:** Contagem da frequência anual de dias com precipitação diária superior a 50mm, 100mm e 150mm.
3. **Cálculo de Percentis:** Determinação dos valores de percentis P90, P95 e P99, utilizados para classificar a intensidade dos eventos extremos anuais.
4. **Geração de Gráficos:** Foram construídos gráficos de linha para demonstrar a evolução temporal das métricas (frequência de dias críticos e percentis) e box plots para analisar a distribuição mensal e decenal da chuva total e diária em cada estação, evidenciando a sazonalidade e a presença de outliers.

3.3. Prototipagem do Módulo de Visualização

A etapa final metodológica consistiu na prototipagem de uma seção de visualização de dados climáticos integrada ao sistema Ecologuia. Para este fim, foi utilizada a plataforma Bubble (ferramenta no-code).

O protótipo foi desenhado para expor as métricas e visualizações geradas de maneira acessível e transparente, conforme os princípios de Governo Aberto. Neste ambiente, os usuários poderão consultar e visualizar métricas importantes (como médias anuais de precipitação), bem como os próprios gráficos gerados na etapa de análise, permitindo uma leitura direta dos padrões históricos e a identificação de eventos extremos.

4. Resultados

Esta seção apresenta os principais resultados obtidos a partir do tratamento e análise das séries temporais de precipitação do DAEE, seguidos pela descrição da proposta de prototipagem visual para a seção de dados climáticos no sistema Ecologuia. Todos os resultados estão disponibilizados no repositório do projeto em: <https://github.com/saraiva03/analise-precipitacao-saovicente/tree/master/results>

³Repositório disponível em: <https://github.com/saraiva03/analise-precipitacao-saovicente>

4.1. Análise da Disponibilidade e Normais Climatológicas

A análise inicial das séries temporais revelou a disponibilidade desigual dos dados entre as estações ao longo dos anos. A estação de São Vicente (E3-056) apresentou o registro mais contínuo entre 1938 e 2027, sendo esta e a estação Humaitá (E3-228) as que possuem maior tempo de coleta. A visualização da abrangência temporal é importante para contextualizar a validade das análises estatísticas ao longo das décadas.

Média de Precipitação (Normais Climatológicas): O cálculo da média de precipitação para o período total registrado (Normal Climatológica) aponta a estação Sales da Cruz (E3-064) como a mais chuvosa, com uma média de 271,96 mm, seguida por Gaspar Ricardo (E3-066), com 258,45 mm. A estação menos chuvosa é São Vicente (E3-056), com média de 188,0 mm.

A análise das médias decenais e tri-decenais, embora limitada pela falta de dados em algumas estações, permitiu observar tendências na estação São Vicente (E3-056). Por exemplo, as médias decenais variaram de 140,09 mm (1951–1960) a 208,92 mm (1971–1980), indicando flutuações significativas ao longo do tempo.

4.2. Análise da Frequência de Eventos Extremos

A avaliação dos eventos extremos foi realizada através da contagem anual de dias com precipitação diária acima de 50 mm, 100 mm e 150 mm, bem como pela análise de percentis.

Evolução de Dias Críticos ($> 50mm$, $> 100mm$, $> 150mm$): Os gráficos de evolução temporal (Figura 1, Figura 2, e Figura 3) demonstram padrões relevantes:

- A precipitação entre 50 mm e 150 mm foi mais comum entre 1940 e 1980, sendo frequentemente registrada pelas estações E3-063, E3-064 e E3-066.
- A precipitação superior a 150 mm foi frequente nos anos 40, 60 e 80, com um notável aumento em 2020.
- Na análise de dias com mais de 50 mm, picos de ocorrência foram observados em 1940–1950, 1975–1985 e, mais recentemente, em 2020.
- A estação E3-056 (São Vicente) registrou um pico excepcional de dias com chuvas acima de 100 mm e 150 mm por volta de 2020.

Evolução dos Percentis (P90, P95, P99): Os percentis reforçam a análise dos extremos (Figura 4, Figura 5 e Figura 6):

- O P90 (chuvas muito chuvosas, entre 20 mm e 30 mm) mostrou picos significativos em todas as estações nas décadas de 1940, 1960 e 1980.
- O P95 (chuvas extremamente chuvosas, entre 40 mm e 60 mm) e o P99 (chuvas excepcionais, acima de 100 mm) evidenciaram o pico de precipitação na estação E3-056 em 2020, com o P99 atingindo valores superiores a 300 mm.

Sazonalidade e Outliers (Box Plots): Os box plots (Figuras 7 a 20) confirmam o padrão de verões mais chuvosos e invernos mais secos em todas as estações. A análise mensal e diária demonstrou:

- A presença de numerosos outliers em praticamente todos os meses, especialmente no verão (janeiro, fevereiro e março), indicando recorrência de eventos extremos que elevam a média mas não representam a precipitação típica.
- A estação E3-064 (Sales da Cruz) registrou dias com mais de 350 mm.
- A estação E3-063 (Pai Matias) apresentou alta concentração de chuvas em fevereiro e março, com um outlier significativo em junho.

4.3. Prototipagem do Módulo Climático no Ecologuia

Em cumprimento ao objetivo de promover o acesso e a transparência, os resultados da análise estatística e as visualizações foram integrados a um protótipo funcional desenvolvido na plataforma Bubble (ferramenta no-code)⁴.

O protótipo consiste em uma seção de dados climáticos que permite aos usuários:

- **Consulta de Métricas:** visualização de médias anuais, decenais e tri-decenais de precipitação por estação;
- **Visualização Interativa:** exibição de gráficos (séries históricas e box plots) demonstrando evolução de percentis e frequência de dias críticos ($> 50\text{mm}$, $> 100\text{mm}$ e $> 150\text{mm}$);
- **Acesso Aberto:** disponibilização dos resultados em formato acessível, alinhando-se aos princípios de Governo Aberto.

A Figura 21 e Figura 22 ilustra a interface de consulta do protótipo no sistema Ecologuia, evidenciando como os resultados da análise são apresentados visualmente ao público.

5. Conclusões

O presente trabalho alcançou seu objetivo geral ao desenvolver a metodologia completa de aquisição, tratamento, análise e prototipagem visual de séries temporais pluviométricas do DAE, culminando na concepção de uma seção de dados climáticos para o sistema Ecologuia. Este módulo atende diretamente à necessidade identificada de centralização e acessibilidade de dados históricos de São Vicente, cumprindo o propósito de promover o letramento climático e apoiar a gestão de riscos na Baixada Santista.

A análise estatística demonstrou a vulnerabilidade histórica e crescente do município a eventos de alta precipitação. Os resultados indicaram que:

Variabilidade Temporal: A análise das Normais Climatológicas e das médias decenais (em especial na Estação E3-056) revelou flutuações significativas nos padrões de chuva ao longo dos anos, com a Estação Sales da Cruz (E3-064) apresentando a maior média de precipitação total.

Intensificação dos Extremos: A evolução da frequência de dias com precipitação superior a 100mm e 150mm e o cálculo dos percentis (P95 e P99) evidenciaram picos significativos de eventos anômalos em décadas específicas (1940, 1960, 1980) e, notavelmente, um aumento de ocorrências em 2020 na Estação São Vicente (E3-056).

Sazonalidade e Risco: Os Box Plots confirmaram o padrão de chuvas concentradas no verão (Janeiro a Março) e a presença constante de outliers de alta precipitação

⁴Site oficial: <https://bubble.io/home>

em meses chuvosos, reforçando que os eventos extremos são recorrentes e demandam monitoramento contínuo.

A prototipagem do módulo no Bubble permite a transformação dos dados brutos em uma ferramenta de consulta transparente e didática. Ao expor os gráficos de linha, os box plots e as métricas de forma estruturada, o módulo do Ecologuia apoia tanto o eixo da Educação Ambiental (promovendo o letramento climático) quanto o pilar do Governo Aberto e Transparência, oferecendo à comunidade e aos gestores um recurso de Apoio à Decisão baseado em evidências históricas.

Como limitação, o estudo enfrentou a falta de dados suficientes em algumas estações para a análise contínua das Normais Climatológicas decenais e tri-decenais, o que sugere a necessidade de integração futura com outras bases de dados.

O principal produto deste trabalho é, portanto, a metodologia de tratamento de dados e o protótipo de exposição, que estabelece uma fundação técnica para a expansão do catálogo de eventos extremos do Projeto Ecologuia, contribuindo diretamente para a resiliência de São Vicente frente aos desafios climáticos.

Trabalhos Futuros

As sugestões de trabalhos futuros visam expandir e aprimorar o observatório climático, focando em três eixos principais:

- **Expansão e Integração de Dados Pluviométricos:**
 - Integrar dados de outras redes de monitoramento (e.g., CEMADEN, CP-TEC/INPE) para complementar a base do DAEE.
 - Aplicar métodos de *Data Imputation* para preencher lacunas nas séries históricas e fortalecer as Normais Climatológicas.
- **Alargamento das Variáveis Climáticas e Riscos:**
 - Incluir séries temporais de outros eventos críticos para a região costeira, como **nível relativo do mar** e **eventos de ressaca**.
 - Adicionar dados de **temperatura do ar** para monitoramento e classificação de **ondas de calor**.
 - Integrar dados de **ventos e marés** para uma análise contextualizada de inundações costeiras.
- **Aprimoramento da Identificação e Previsão de Risco:**
 - Aplicar modelos de **Aprendizado de Máquina** ou estatística avançada para identificar padrões multivariados que caracterizam eventos extremos.
 - Desenvolver **índices de risco compostos** que ponderem a combinação de variáveis críticas (ex: precipitação intensa + maré alta) para maior precisão na alerta.
 - Expandir o Catálogo de Eventos Extremos no Ecologuia com categorização mais detalhada.

Referências

Peres, A. P., Neves, N. C. R. F., and Taddei, R. (2020). Atitudes e percepções de gestores ambientais da zona costeira de sp frente às mudanças climáticas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58(2):e191793.

Tribuna, A. (2025). Baixada santista é uma das áreas do litoral de sp mais suscetíveis a ressaca, inundações e avanço do nível do mar – a tribuna; adaptação dos municípios costeiros à mudança do clima.

Apêndice – Figuras

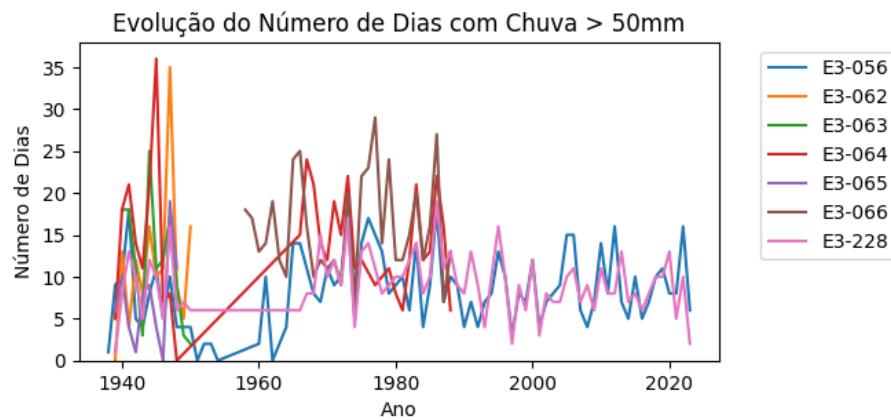


Figura 1. legenda

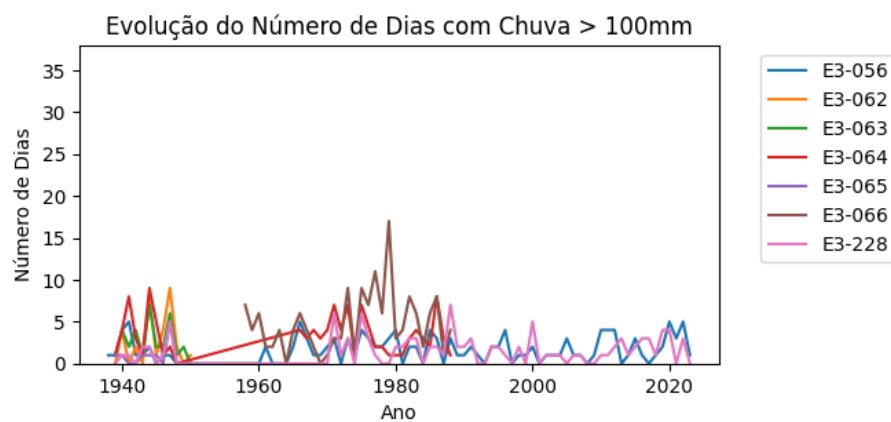


Figura 2. legenda

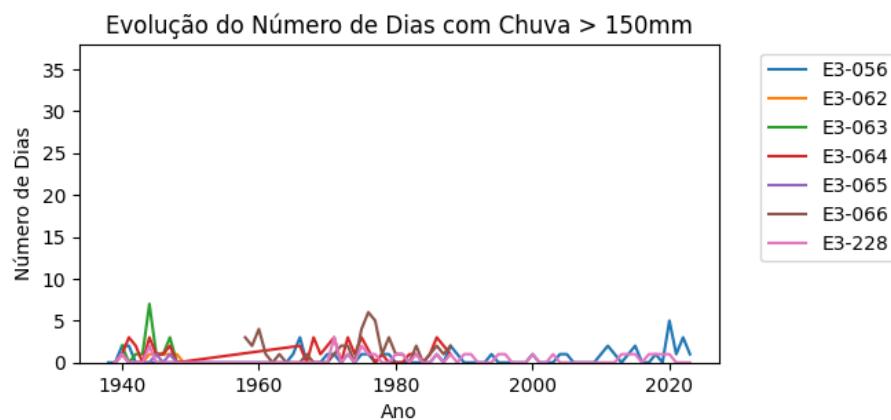


Figura 3. legenda

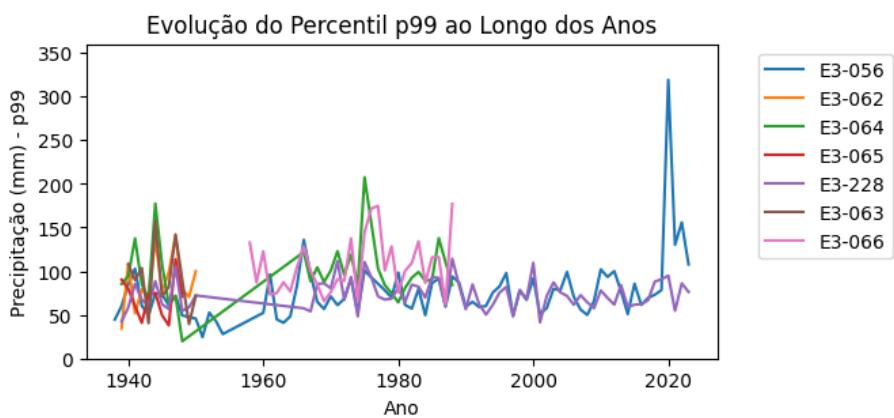


Figura 4. legenda

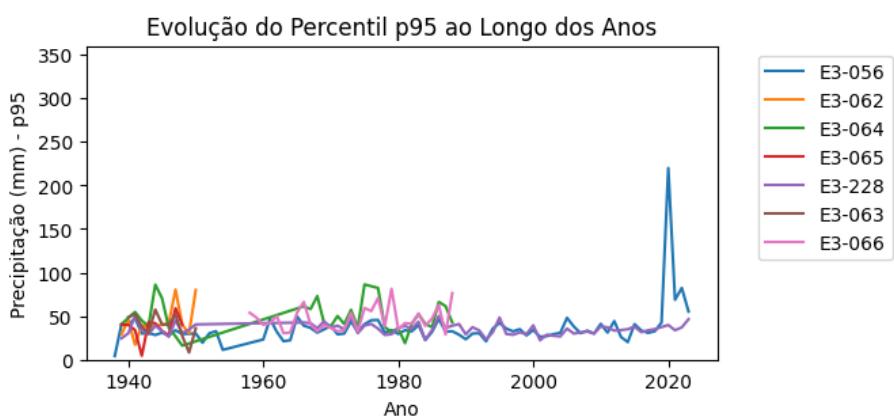


Figura 5. legenda

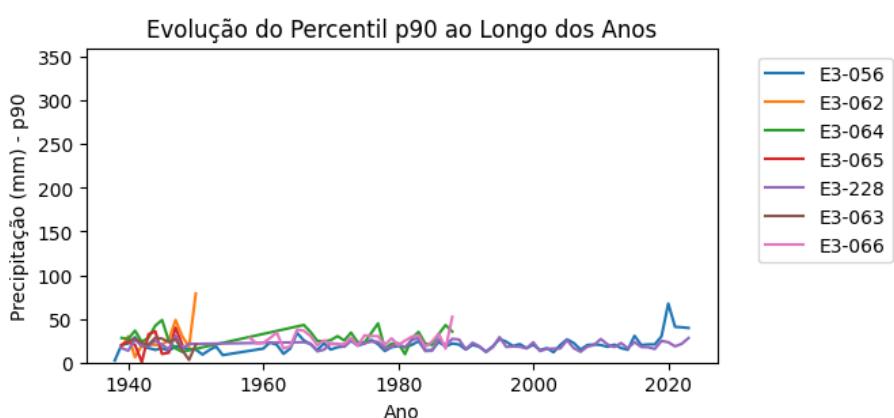


Figura 6. legenda

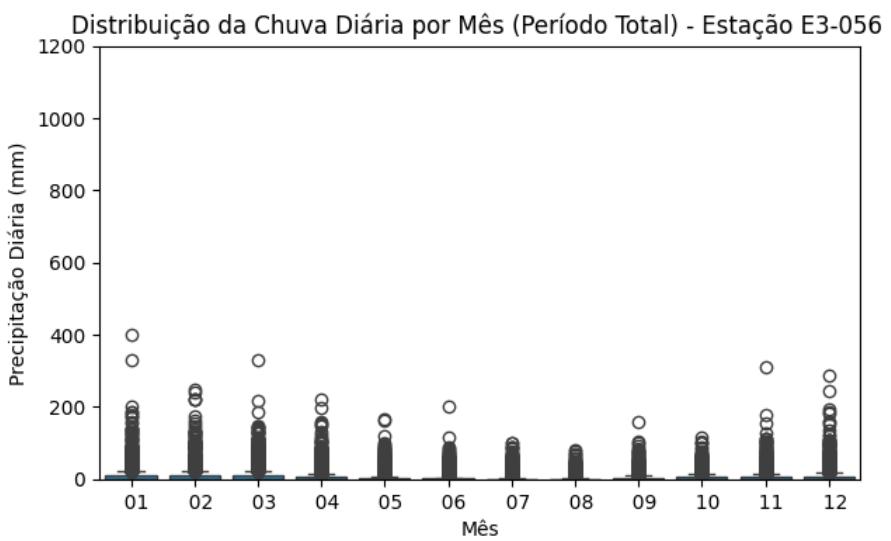


Figura 7. legenda

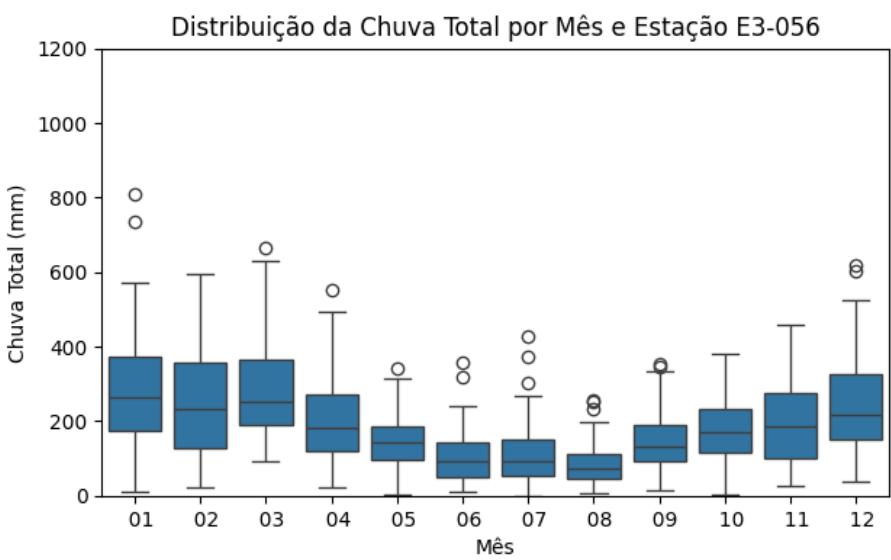


Figura 8. legenda

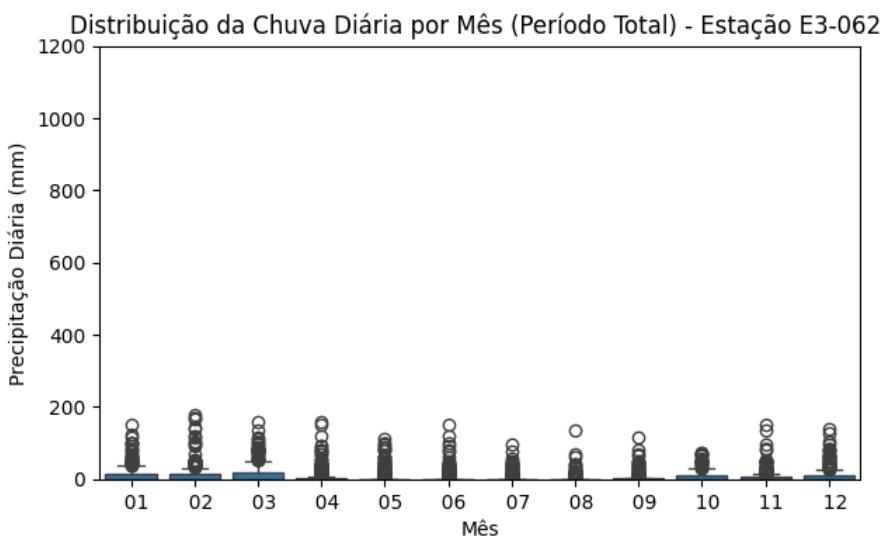


Figura 9. legenda

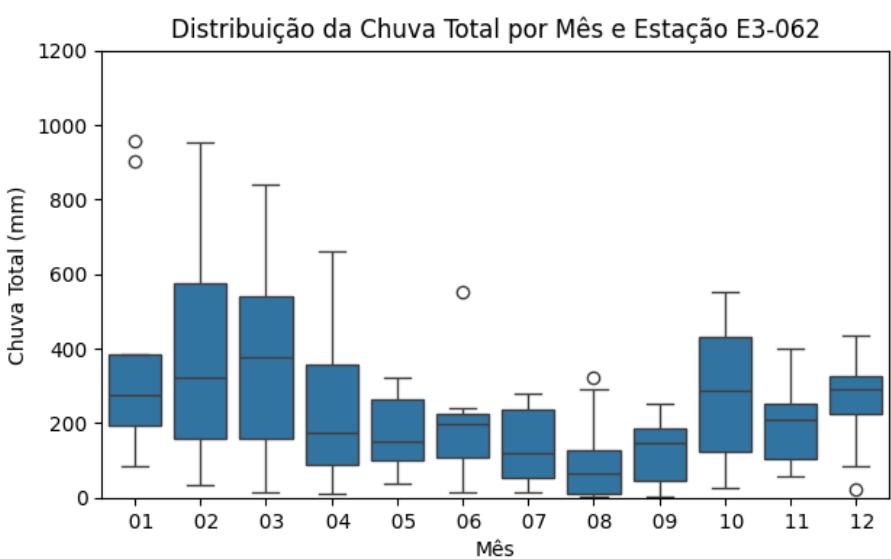


Figura 10. legenda

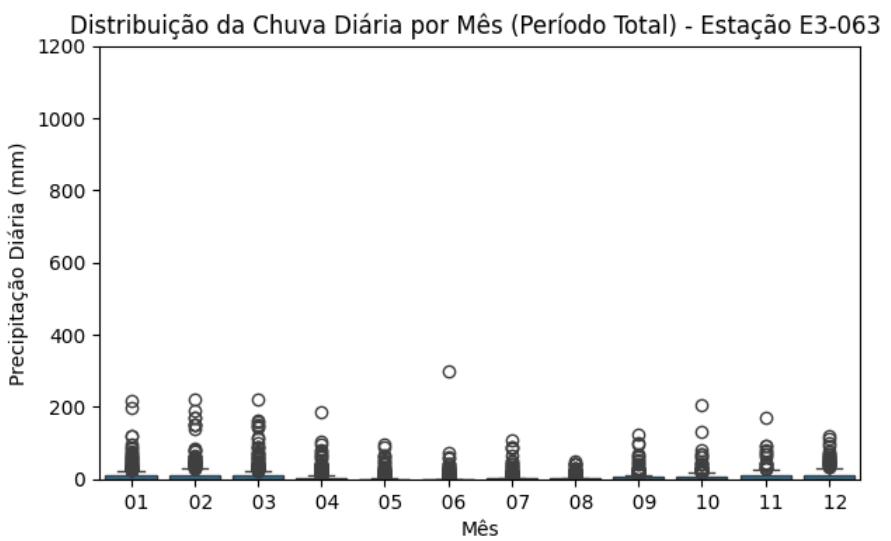


Figura 11. legenda

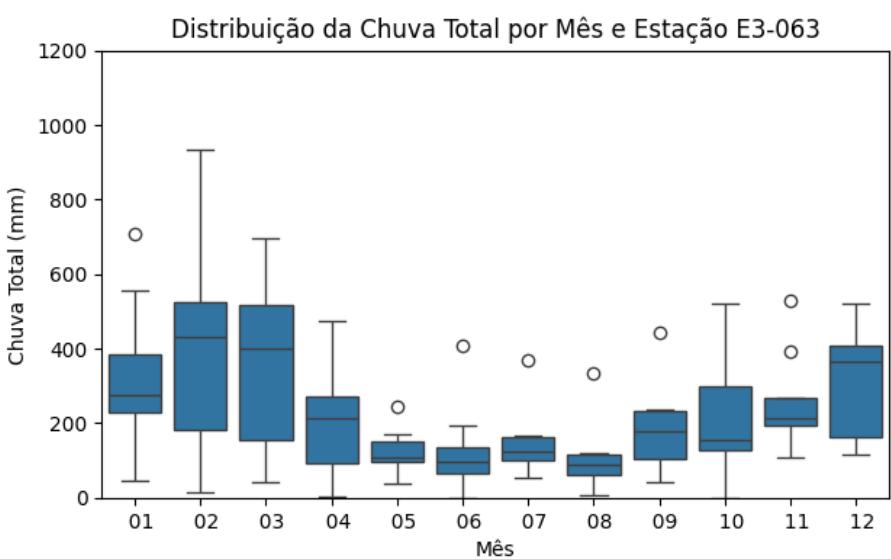


Figura 12. legenda

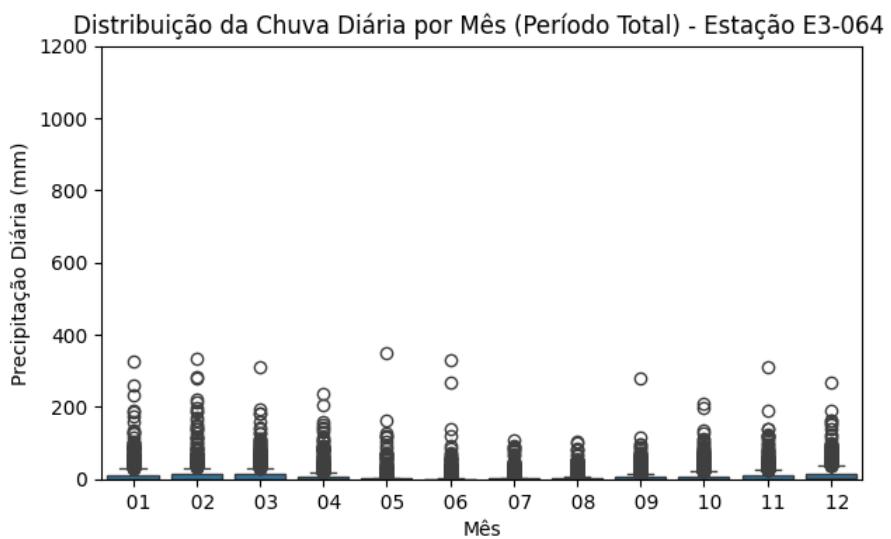


Figura 13. legenda

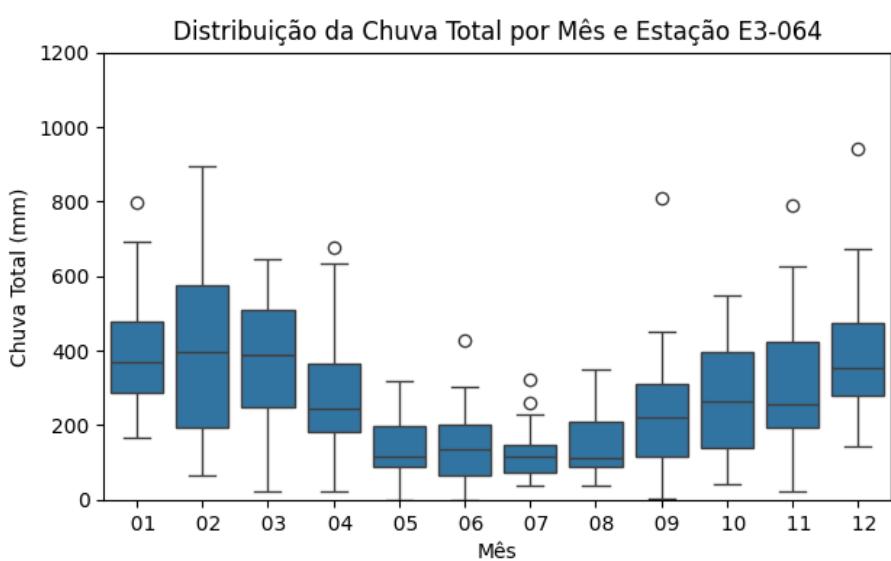


Figura 14. legenda

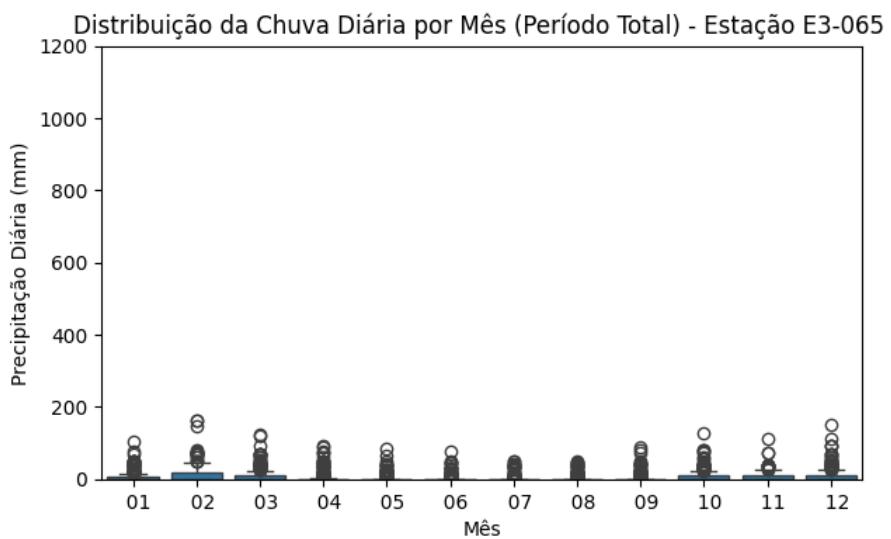


Figura 15. legenda

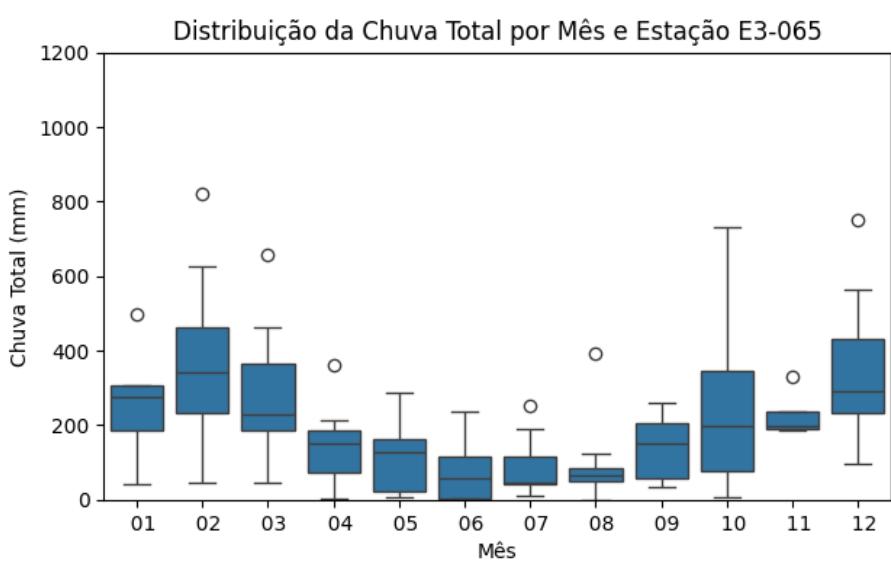


Figura 16. legenda

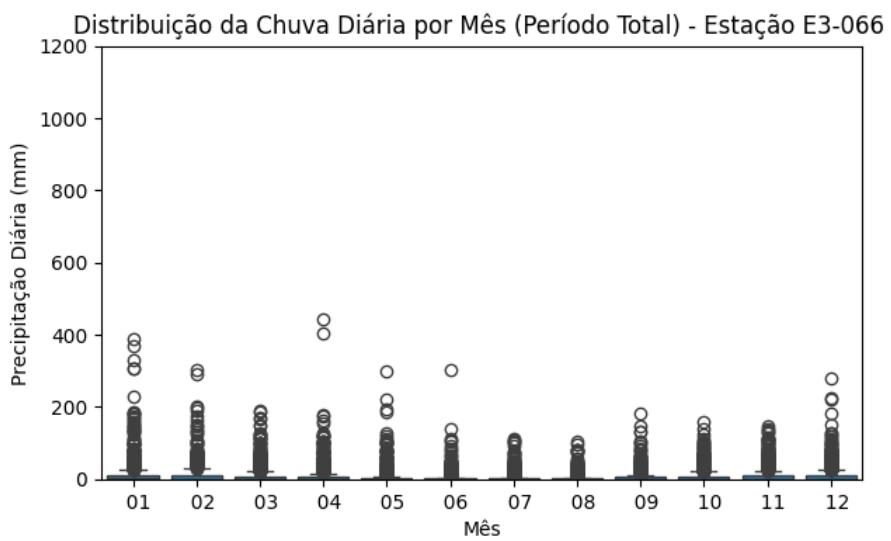


Figura 17. legenda

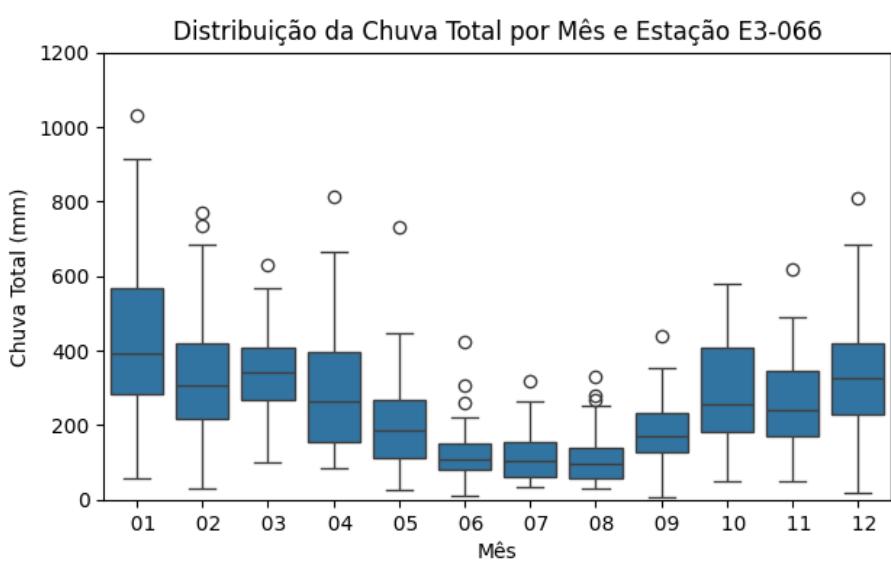


Figura 18. legenda

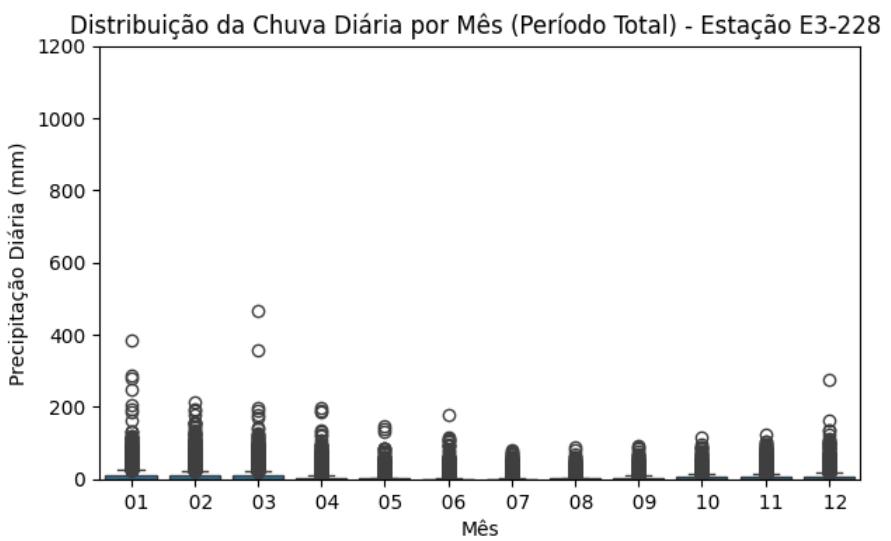


Figura 19. legenda

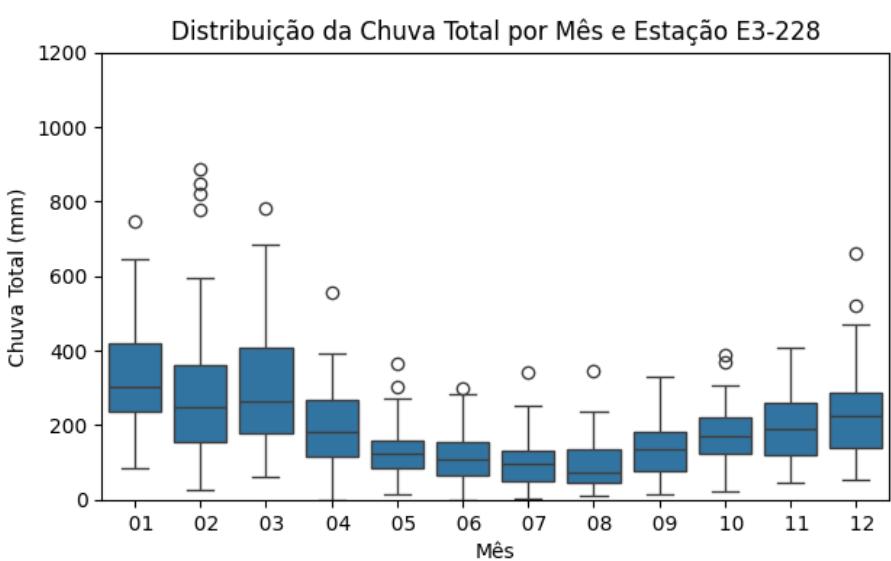


Figura 20. legenda

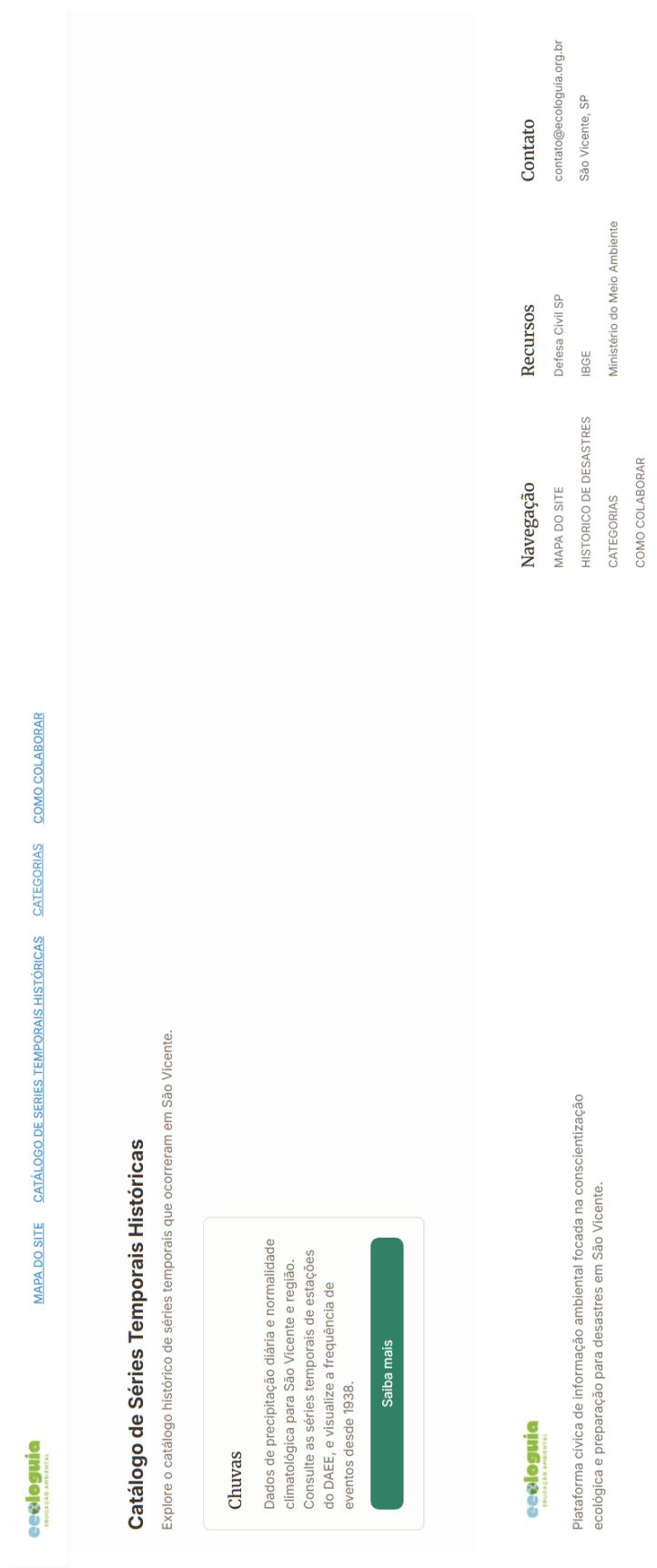


Figura 21. Tela de acesso ao módulo de dados climáticos do Ecologua. Esta figura ilustra a página inicial do "Catálogo de Séries Temporais Históricas", o ponto de entrada para a consulta dos dados pluviométricos de São Vicente e região.

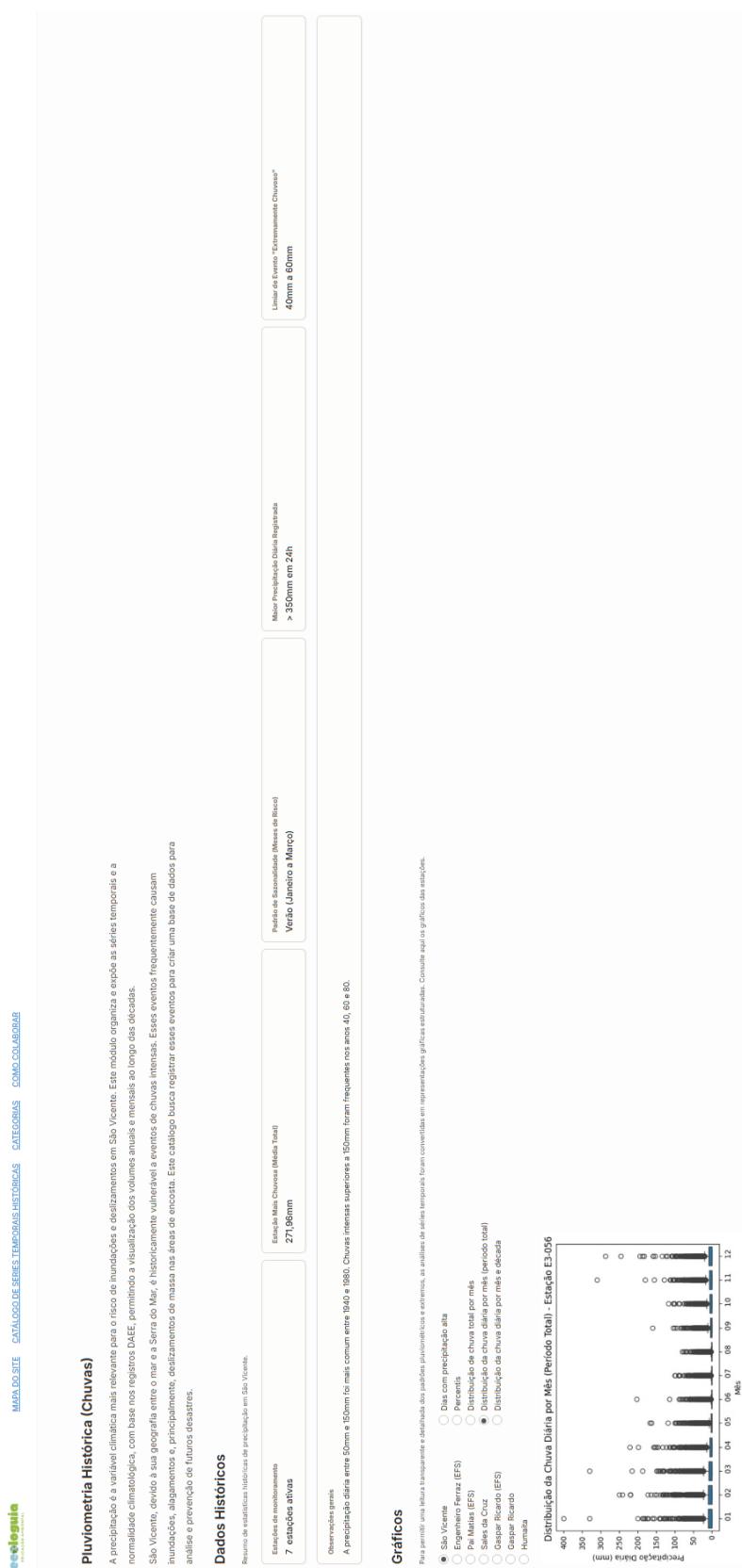


Figura 22. Tela da seção de Pluviometria Histórica (Chuvas) no Ecologia. Esta figura apresenta a interface principal do módulo, destacando os dados históricos (métricas de média e risco) e o sistema de gráficos para consulta dos resultados das análises.