

# PANDORA

## Sistema estatístico para previsão de eventos extremos

**Luís Fernando Cezar dos Santos<sup>1</sup>, Flavia Maristela<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Computação – Instituto Federal da Bahia (IFBA)  
R. Emídio dos Santos, s/n - Barbalho, Salvador - BA, 40301-015

<sup>2</sup>Departamento de Computação – Instituto Federal da Bahia (IFBA)  
R. Emídio dos Santos, s/n - Barbalho, Salvador - BA, 40301-015

20212160053@ifba.edu.br, flaviamsn@ifba.edu.br

**Abstract.** This paper highlights the importance of extreme event prediction systems and presents the development of the Pandora project as a response to this growing need, with a specific focus on Brazil. In a context of increased frequency and intensity of extreme weather phenomena around the world, such as storms, floods, heatwaves and hurricanes, it becomes essential to have advanced forecasting systems to mitigate their impacts, especially in a country as vast and geographically diverse as Brazil. The Pandora project uses the extensive database of the EM-DAT (Emergency Events Database), which covers the period from 2000 to 2024, focusing on specific categories of extreme events that are relevant to the Brazilian territory. These categories include Riverside Flood, Cold Wave, Flash Flood, Tropical Cyclone, Heat Wave, Storm and other general events related to flooding and storms affecting the country. It is important to note that this approach allows the project to have access to an extensive variety of climate information through the Open-Meteo API, significantly enriching its analytical capacity for forecasting extreme events specific to Brazil.

**Resumo.** Este trabalho ressalta a importância dos sistemas de previsão de eventos extremos e apresenta o desenvolvimento do sistema Pandora como uma resposta a essa necessidade crescente, com foco específico no Brasil. Em um contexto de aumento da frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos em todo o mundo, como tempestades, inundações, ondas de calor e furacões, torna-se essencial contar com sistemas avançados de previsão para mitigar seus impactos, especialmente em um país tão vasto e geograficamente diversificado como o Brasil. O sistema Pandora utiliza a ampla base de dados do EM-DAT (Emergency Events Database), que abrange o período de 2000 a 2024, concentrando-se em categorias específicas de eventos extremos que são relevantes para o território brasileiro. Estas categorias incluem Inundação Ribeirinha, Onda de Frio, Inundação Repentina, Ciclone Tropical, Onda de Calor, Tempestade e outros eventos gerais relacionados a inundação e tempestades que afetam o país. É importante ressaltar que essa abordagem permite que o sistema tenha acesso a uma extensa variedade de informações climáticas através da API Open-Meteo, enriquecendo significativamente sua capacidade analítica para previsão de eventos extremos específicos para o Brasil.

## **1. Introdução**

Os eventos climáticos, como tempestades, inundações e ondas de calor, têm sido objeto de crescente preocupação devido ao seu impacto significativo na sociedade, economia e meio ambiente [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2021]. Esses eventos, também conhecidos como eventos extremos, são caracterizados por sua ocorrência fora das variações climáticas normais em termos de intensidade, duração, frequência ou distribuição espacial.

A emissão de gases de efeito estufa resultantes da atividade humana tem impulsionado boa parte das mudanças climáticas globais, provocando alterações significativas nos padrões climáticos em todo o mundo [Coumou and Rahmstorf 2012]. A expectativa é de que essas mudanças aumentem a intensidade de eventos extremos em muitas regiões, tornando-se uma das maiores ameaças ambientais e sociais do século XXI.

Vários estudos científicos têm investigado a relação entre mudanças climáticas e eventos extremos. De fato, há uma tendência crescente na ocorrência de eventos extremos em muitas partes do mundo. Além disso, modelos climáticos indicam que as mudanças climáticas antropogênicas têm contribuído significativamente para o aumento da probabilidade de eventos extremos em várias regiões [Hansen et al. 2012].

Este trabalho apresenta PANDORA, uma aplicação inovadora projetada para oferecer uma visualização probabilística de eventos extremos em potencial. Além disso, proporciona acesso a dados históricos de locais onde ocorreram eventos extremos nos últimos anos. O objetivo principal do sistema é fornecer aos usuários uma ferramenta intuitiva para entender e antever os eventos extremos, capacitando-os a tomar decisões proativas diante de situações críticas.

O restante deste documento está estruturado da seguinte forma. A Seção 2 discute a relevância dos estudos sobre eventos extremos na sociedade. Na Seção 3, são apresentados os trabalhos relacionados, destacando-se as principais características de cada projeto. Em seguida, a Seção 4 detalha as fontes de dados utilizadas no projeto. Na sequência, a Seção 5 apresenta uma análise mais detalhada da ferramenta, abordando o principal problema a ser resolvido, a visão arquitetural e as técnicas de processamento de dados empregadas.

Enquanto aplicativos populares como Climatempo e Meteored fornecem previsões meteorológicas detalhadas voltadas para o público geral, focando em eventos cotidianos como previsão de chuvas, temperaturas e condições de vento, o sistema Pandora se destaca por seu enfoque exclusivo em eventos climáticos extremos. Aplicativos como o Climatempo são amplamente utilizados por pessoas que buscam atualizações diárias do clima, enquanto o Meteored oferece uma plataforma visualmente atraente e com previsões de longo prazo. No entanto, ambos os sistemas são projetados para abranger uma gama mais ampla de previsões meteorológicas e climáticas, sem uma especialização exclusiva em eventos críticos.

Por outro lado, Pandora visa preencher essa lacuna ao focar especificamente na previsão e análise de eventos extremos, como enchentes, ondas de calor e ciclones. Isso permite uma abordagem mais profunda e especializada, oferecendo dados e visualizações probabilísticas que ajudam gestores de riscos, autoridades governamentais e o público a entender e se preparar para os impactos desses eventos com mais eficácia. Ao fornecer informações baseadas em dados históricos e em modelos de previsão avançados, Pandora contribui para a tomada de decisões proativas, algo que vai além do alcance dos serviços meteorológicos convencionais.

## **2. Impacto Socioeconômico e Ambiental de Eventos Extremos**

O impacto socioeconômico e ambiental dos eventos extremos é significativo. Do ponto de vista social, esses eventos podem resultar na perda de vidas humanas, deslocamentos populacionais e danos à infraestrutura. Além disso, eles podem causar interrupções nos serviços essenciais, como abastecimento de água potável, fornecimento de energia e transporte. A exposição a eventos extremos também pode ter consequências psicológicas graves, como estresse, ansiedade e trauma emocional, afetando negativamente o bem-estar mental e emocional das comunidades. [Kahn and Mohaddes 2016]

Por outro lado, do ponto de vista do meio ambiente, os eventos extremos podem resultar em danos a ecossistemas naturais, perda de biodiversidade, degradação do solo, contaminação da água e destruição de habitats naturais. No longo prazo, isso pode levar, por exemplo, a consequências para a saúde dos ecossistemas, incluindo a redução da capacidade de regeneração natural e a perda de serviços essenciais para a sustentabilidade do planeta, como a regulação do clima e a proteção contra desastres naturais.

Outro aspecto importante é o impacto econômico, que pode ser devastador para as comunidades afetadas e para a economia como um todo. Os custos associados à recuperação de desastres, reconstrução de infraestrutura danificada, compensação de perdas financeiras e perda de produtividade podem ser enormes e durar muito tempo, aumentando os gastos e reduzindo o desenvolvimento econômico de longo prazo [Diffenbaugh et al. 2018].

Diante desses desafios, é fundamental adotar medidas de preparação e resposta, para reduzir a vulnerabilidade da sociedade e do meio ambiente aos eventos extremos. Isso inclui, dentre outras coisas, o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, planos de emergência, infraestrutura resiliente, políticas de zoneamento adequadas e investimentos em adaptação. Somente por meio de uma abordagem integrada e colaborativa, podemos enfrentar eficazmente os desafios apresentados pelos eventos extremos e proteger tanto a sociedade quanto o meio ambiente.

## **3. Trabalhos relacionados**

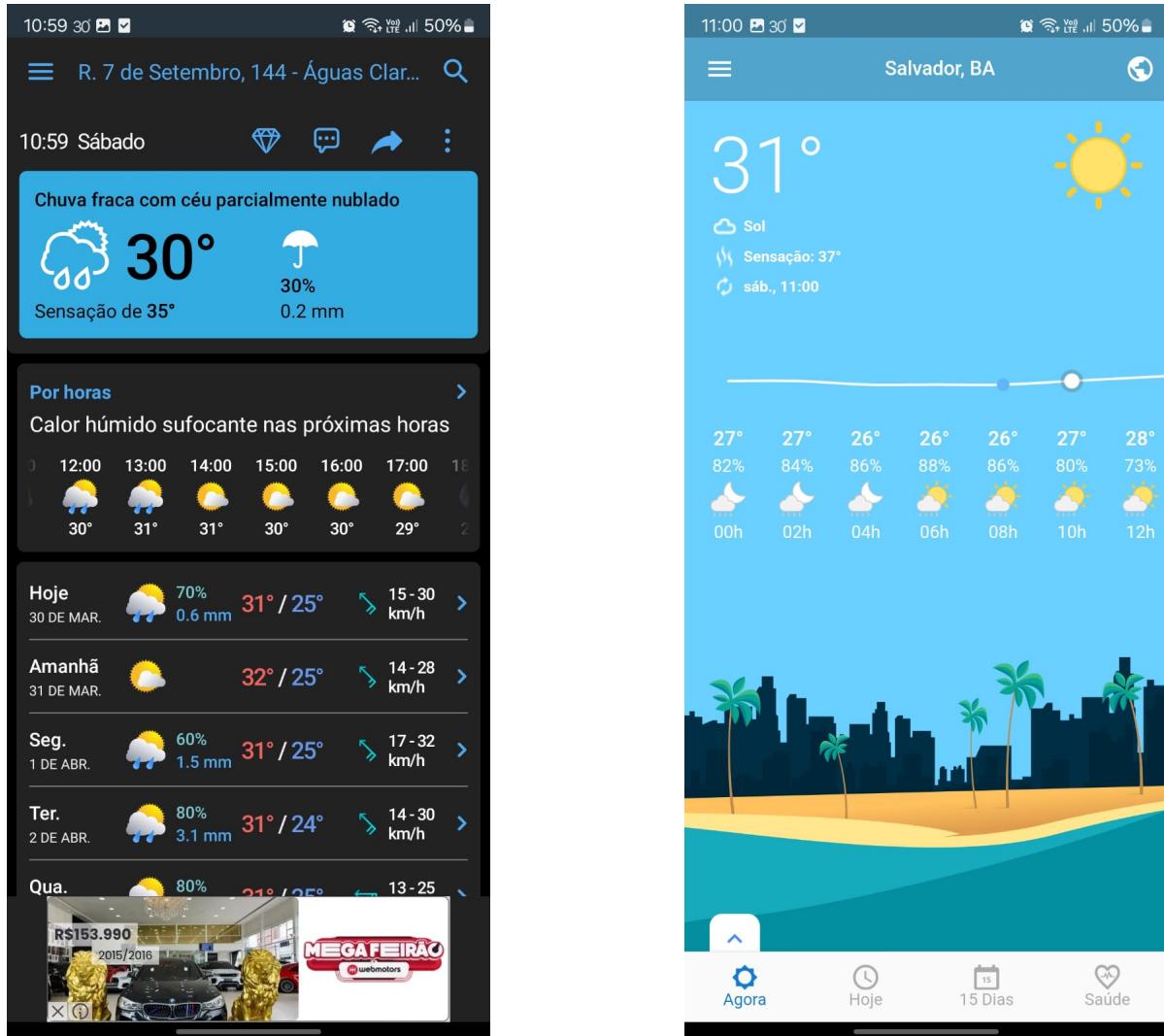
As plataformas Meteored [Meteored 2024] e Climatempo [Climatempo 2024] são duas das principais fontes de informações meteorológicas disponíveis para o público em geral. Porém, apresentam diferenças significativas em termos de abordagem, recursos e foco.

Em primeiro lugar, quanto à cobertura geográfica, a Meteored se destaca por oferecer uma abrangência global, fornecendo previsões detalhadas e análises climáticas para uma ampla gama de localidades em todo o mundo. Por outro lado, a Climatempo, embora também forneça informações globais, concentra-se especialmente na cobertura do Brasil, disponibilizando análises climáticas detalhadas e previsões específicas para as diversas regiões do país.

Além disso, em relação aos recursos adicionais, a Meteored oferece não apenas previsões meteorológicas, mas também recursos extras como mapas interativos, gráficos e aplicativos móveis, que auxiliam na visualização e compreensão das condições climáticas. Já a Climatempo disponibiliza recursos como notícias sobre meteorologia, vídeos explicativos e conteúdo educativo sobre o clima, visando oferecer informações mais abrangentes e contextualizadas.

Quanto ao público-alvo, a Meteored direciona-se a um público internacional, fornecendo informações meteorológicas para diversas localidades ao redor do mundo. Por outro

lado, embora a Climatempo também seja acessível internacionalmente, seu principal público-alvo são os brasileiros, fornecendo análises climáticas e previsões específicas para o território nacional.



**Figura 1. Interface: METEORED x CLIMATEMPO**

Essas diferenças refletem as distintas abordagens e focos das plataformas Meteored e Climatempo, permitindo que os usuários escolham aquela que melhor atenda às suas necessidades e preferências específicas em relação às informações meteorológicas.

A Tabela 1, descreve as características das plataformas apresentadas nesta seção e da proposta deste trabalho.

**Tabela 1. Recursos disponíveis**

***	PANDORA	METEORED	CLIMATEMPO
<b>PREVISÃO</b>	X	X	X
<b>CROSS-PLATAFORM</b>	X	X	-
<b>SISTEMA DE ALERTA</b>	-	X	-
<b>RADAR</b>	X	X	X
<b>NOTICIAS</b>	X	X	X

## 4. Referências de dados utilizados

### 4.1. EM-DAT (The international disaster database)

O sistema Pandora utiliza a base de dados da EM-DAT como fonte primária de consulta dos dados, para obter informações das localidades que sofreram com desastres severos.

O objetivo inicial desta base de dados é servir os propósitos da ação humanitária a nível nacional e internacional. Hoje, o EM-DAT também é utilizada para racionalizar a preparação para catástrofes e a tomada de decisões, ao mesmo tempo que fornece uma base objetiva para a avaliação da vulnerabilidade e dos riscos.

EM-DAT contém registros de catástrofes em massa, bem como os seus impactos na saúde e na economia a nível nacional. Além disso, contém dados essenciais sobre a ocorrência e os efeitos de 26.000 desastres em todo o mundo, desde 1900 até hoje. A base de dados é compilada a partir de diversas fontes de informação, incluindo agências da ONU, organizações não governamentais, companhias de seguros, institutos de investigação e agências de imprensa [CRED 2024].

A Tabela 2 apresenta a estrutura dos principais dados da EM-DAT que são utilizados no sistema Pandora[CRED 2024].

**Tabela 2. Estrutura de dados - EM DAT**

Campo	Descrição
DisNo	Um identificador exclusivo de 8 dígitos, incluindo o ano (4 dígitos) e um número sequencial (4 dígitos) para cada evento de desastre (ou seja, 2004-0659);
Disaster Subtype	O subtipo de desastre;
Country	País onde o desastre ocorreu e teve impacto, utilizando nomes da Norma M49 da ONU;
Location	Nome da localização geográfica conforme especificado nas fontes, por exemplo, cidade, vila, departamento, província, estado ou distrito;
Start Year	Ano de ocorrência do desastre;
Start Month	Mês de ocorrência do desastre.
Start Day	Dia da ocorrência do desastre.
End Year	Ano de conclusão do desastre;
End Month	Mês da conclusão do desastre.
End Day	Dia da conclusão do desastre.

Na tabela 1, para desastres de impacto repentino, os campos: *Start Month*, *Start Day*, *End Month* e *End Day* podem estar preenchidos. Para os desastres que se desenvolvem gradualmente ao longo de um período de tempo mais longo (por exemplo, seca) sem data precisa de início, estes campos podem ser deixados em branco;

## 4.2. OPEN-METEO

A Open-Meteo é uma API open-source que provê informações meteorológicas precisas para qualquer localidade. O sistema Pandora se vale de dois serviços da Open-Meteo para acessar informações meteorológicas históricas e também de previsão, sendo elas respectivamente: *Historical Weather API* e *Weather Forecast API*.

No contexto das informações históricas, utilizando as localidades obtidas da base de dados da EM-DAT, o sistema Pandora consegue recuperar os registros históricos meteorológicos desses locais, determinados a partir da data de início e término do evento em questão. Essa integração permite uma análise mais precisa e abrangente das condições climáticas associadas aos eventos registrados, ampliando a capacidade do sistema de compreender os impactos causados por fenômenos meteorológicos adversos. A variedade de informações climáticas, incluem dados de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura aparente máxima, temperatura aparente mínima e muito mais. Esses dados são essenciais para a análise estatística, modelagem climática e previsão de eventos extremos.

A Tabela 3 apresenta a estrutura dos principais dados da EM-DAT [CRED 2024]

Campo	Descrição
temperature 2m max / temperature 2m min	Temperatura máxima e mínima diária do ar a 2 metros acima do solo.
apparent temperature max / apparent temperature min	Temperatura aparente diária máxima e mínima.
precipitation sum	Soma da precipitação diária (incluindo chuva, aguaceiros e queda de neve).
rain sum	Soma da chuva diária.
snowfall sum	Soma da queda de neve diária.
precipitation hours	O número de horas com chuva.
wind speed 10m max / wind gusts 10m max	Velocidade máxima do vento e rajadas num dia.
wind direction 10m dominant	Direção dominante do vento.
shortwave radiation sum	A soma da radiação solar em um determinado dia em Megajoules.
et0 fao evapotranspiration	Soma diária da Evapotranspiração de Referência da ET de um campo gramado bem regado.

**Tabela 3. Estrutura de dados - OPEN METEO**

#### **4.2.1. Historical Weather API**

É baseada em conjuntos de dados de reanálise e usa uma combinação de estação meteorológica, aeronaves, bóias, radares e observações de satélite para criar um registro abrangente das condições climáticas passadas. Esses conjuntos de dados são capazes de preencher lacunas usando modelos matemáticos para estimar os valores de várias variáveis meteorológicas. Como resultado, os conjuntos de dados de reanálise são capazes de fornecer informações detalhadas para locais que podem não ter estações meteorológicas próximas, como áreas rurais ou o oceano aberto [Zippenfenig 2023]. Na tabela 4, é possível visualizar quais são as principais modelos adotados na OPEN-METEO para dados históricos.

**Tabela 4. API de clima histórico: fontes de dados**

Data Set	Region	Spatial Resolution	Temporal Resolution	Data Availability
ECMWF IFS	Global	9 km	Hourly	2017 to present
ERA5	Global	0.25° ( 25 km)	Hourly	1940 to present
ERA5-Land	Global	0.1° ( 11 km)	Hourly	1950 to present
CERRA	Europe	5 km	Hourly	1985 to June 2021

#### **4.2.2. Weather Forecast API**

Utiliza modelos meteorológicos de vários provedores nacionais de tempo. Para cada localização em todo o mundo, os melhores modelos serão combinados para fornecer a melhor previsão possível. Os modelos meteorológicos cobrem diferentes áreas geográficas em diferentes resoluções e fornecem diferentes variáveis meteorológicas [Zippenfenig 2023]. Na tabela 5, é possível visualizar quais são as principais modelos adotados na OPEN-METEO para dados de previsão.

**Tabela 5. API de previsão do tempo: fontes de dados**

Weather Model	National Weather Provider	Origin Country	Resolution
ICON	Deutscher Wetterdienst	Germany	2 - 11 km
GFS & HRRR	NOAA	United States	3 - 25 km
ARPEGE & AROME	Météo-France	France	1 - 25 km
IFS & AIFS	ECMWF	European Union	25 km
MSM & GSM	JMA	Japan	5 - 55 km
MET Nordic	MET Norway	Norway	1 km
GEM	Canadian Weather Service	Canada	2.5 km
GFS GRAPES & AIFS	CMA	China	15 km
ACCESS-G & AIFS	ABM	Australia	15 km
COSMO 2I & 5M	AM ARPAE	Italy	2 km

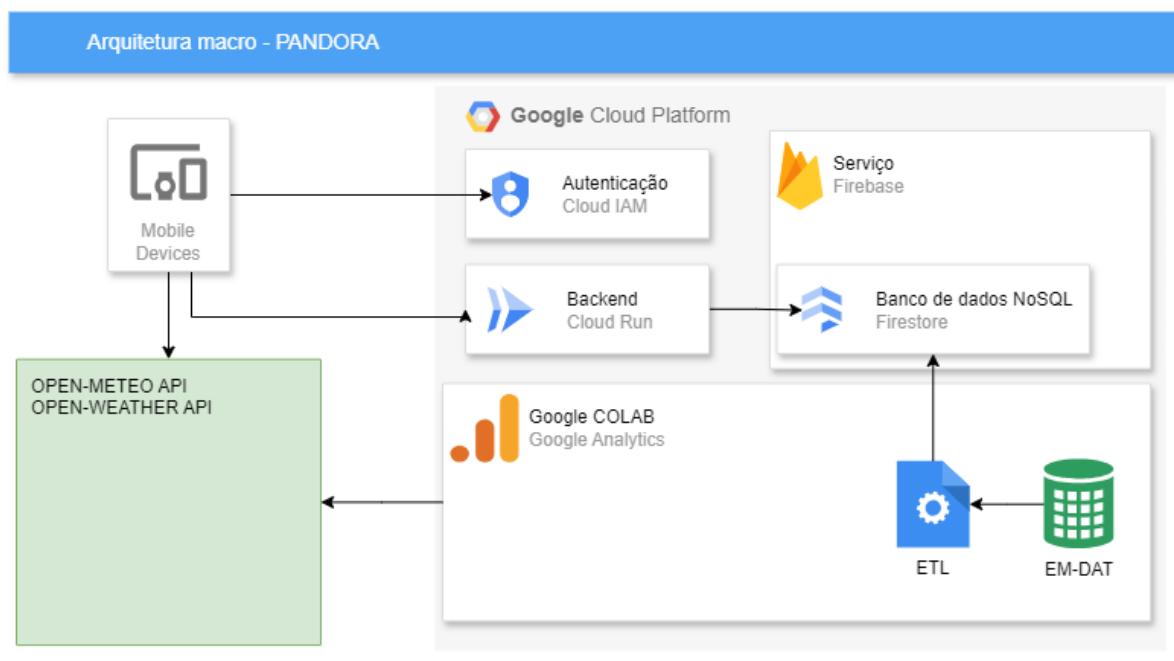
## 5. VISÃO GERAL

### 5.1. Declaração do Problema

O problema abordado neste projeto se concentra na necessidade premente de conceber um sistema inovador de previsão de eventos climáticos extremos, denominado Pandora, em resposta ao aumento alarmante da incidência e impacto desses fenômenos no cenário climático atual. Este contexto é marcado pela crescente frequência e intensidade de eventos extremos, como tempestades, inundações, ondas de calor e furacões, os quais têm ocasionado devastação e prejuízos significativos à sociedade e ao meio ambiente. A escolha deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi motivada pela urgência crescente em lidar com os efeitos das mudanças climáticas e eventos extremos, bem como pela oportunidade de explorar o potencial das tecnologias na antecipação e mitigação dos impactos desses eventos. Assim, o projeto busca oferecer uma abordagem integral para enfrentar um dos maiores desafios ambientais e sociais da contemporaneidade, visando à proteção das comunidades vulneráveis e à redução dos danos decorrentes dos eventos extremos.

## 6. PANDORA

Nessa seção descreveremos PANDORA, uma ferramenta criada para lidar com a previsão de eventos extremos, fazendo uso da base de dados do EM-DAT como fonte primária de informações. O processo se inicia com a extração de dados dessa base por meio de um arquivo Excel, seguido por uma etapa de tratamento das informações.

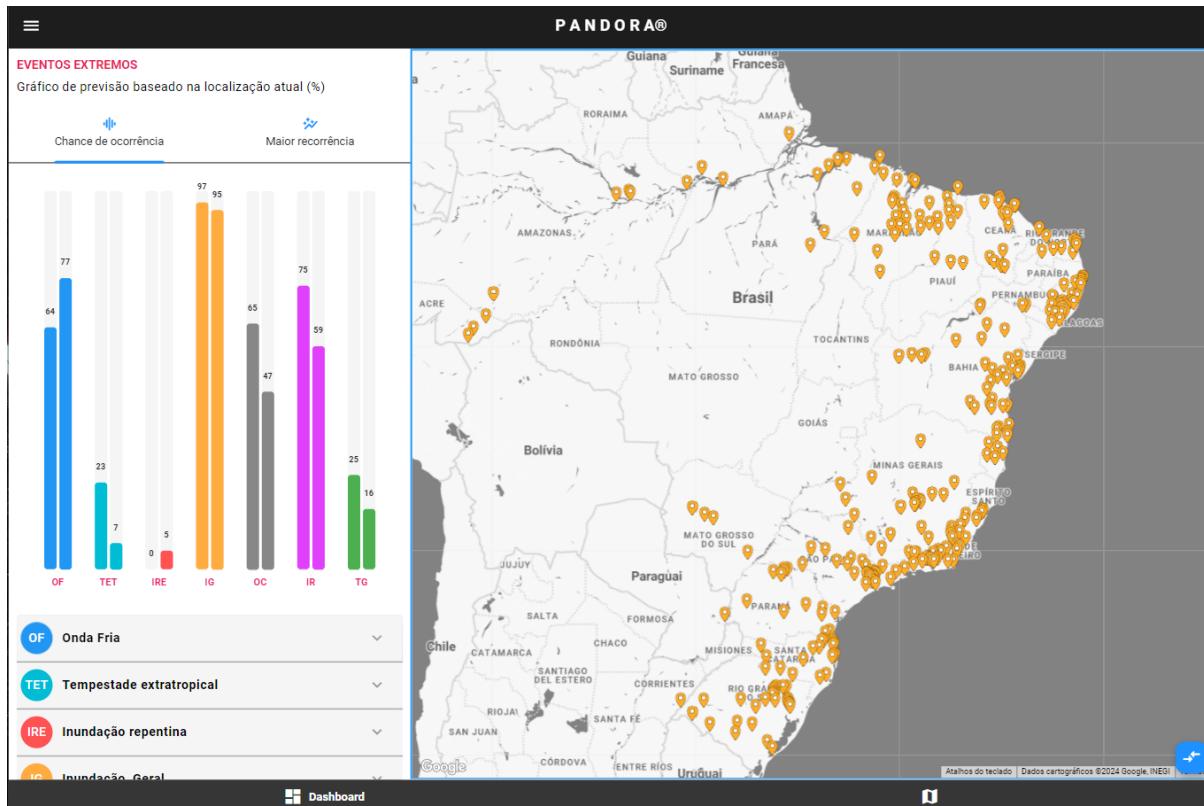


**Figura 2. Pandora Analytics: Inserção de dados (I)**

Utilizando as informações de localidade, data de início e fim dos eventos extremos, o sistema recorre à API Open-Meteo para obter os dados climáticos correspondentes. Em seguida, esses dados são submetidos a um cálculo de correlação estatística das variáveis climáticas, categorizadas de acordo com o tipo de evento extremo em questão. Em paralelo,

utilizando a informação atual de latitude e longitude do usuário, o sistema obtém as previsões climáticas pertinentes à sua localização. Posteriormente, realiza-se outro cálculo de correlação entre as informações obtidas atualmente e os dados categorizados conforme o tipo de evento extremo. Essa abordagem detalhada visa aprimorar a precisão das previsões, permitindo que o Pandora forneça insights valiosos sobre a probabilidade e intensidade de eventos extremos, auxiliando na implementação de medidas preventivas por parte dos usuários.

Na figura 2, apresenta o diagrama geral da arquitetura, onde é possível verificar o modelo adotado no sistema PANDORA. Todos os cálculos estáticos ocorrem no módulo Google COLAB, onde é efetuada toda a extração, processamento e armazenamento dos dados. Para melhor desempenho do sistema, todos os cálculos históricos foram pré-armazenados no banco de dados. Dessa forma, não será necessário efetuar os mesmos cálculos toda vez que o serviço for demandado. Na figura 3, é apresentada a tela principal do sistema PANDORA.



**Figura 3. Pandora: Painel principal**

## 6.1. Cálculo de correlação vs. Machine Learning

O cálculo de correlação entre variáveis é uma técnica estatística fundamental que permite avaliar a relação linear entre duas ou mais variáveis [Montgomery and Runger 2021]. Essa técnica oferece algumas vantagens quando comparada ao uso de técnicas de *machine learning* para previsão de dados, dependendo do contexto e dos objetivos do projeto:

- **Interpretabilidade:** O cálculo de correlação fornece uma medida direta da relação linear entre as variáveis, o que facilita a interpretação dos resultados. Por exemplo, se a correlação entre duas variáveis for positiva e alta, isso indica uma relação direta e forte entre elas;

- **Simplicidade:** O cálculo de correlação trata-se é uma técnica relativamente simples e rápida de ser aplicada, especialmente quando se trata de um número pequeno a moderado de variáveis. Não requer ajuste de parâmetros ou treinamento de modelo, como é o caso em algoritmos de *machine learning*;
- **Identificação de relações lineares:** A correlação é útil para identificar relações lineares entre variáveis. Se houver uma forte correlação entre duas variáveis, isso sugere que uma pode ser usada para prever a outra de forma mais direta, sem a necessidade de métodos mais complexos.

É importante ressaltar que o cálculo de correlação tem suas limitações e pode não capturar relações não lineares entre as variáveis. Além disso, em cenários onde existem muitas variáveis ou onde as relações são complexas e não lineares, técnicas de *machine learning* podem ser mais adequadas para construir modelos de previsão precisos.

## 6.2. Tecnologias Adotadas

**Google Colab:** Plataforma gratuita, que provê um ambiente integrado, baseada em nuvem desenvolvida pelo Google [Google 2024c], que permite aos usuários escrever e executar código Python diretamente em seus navegadores da web.

**Firebase - Cloud Firestore:** É um serviço de banco de dados NoSQL totalmente gerenciado oferecido pela plataforma Firebase do Google [Google 2024a]. Ele fornece uma estrutura flexível e escalável para armazenar, sincronizar e consultar dados para aplicativos da web, móveis e em tempo real.

**Firebase - Authentication:** É um serviço oferecido pela plataforma Firebase do Google, projetado para simplificar e facilitar a autenticação de usuários em aplicativos da web e móveis.

**Flutter:** Framework de código aberto desenvolvido pelo Google para a criação de interfaces de usuário nativas em plataformas móveis, web e desktop a partir de um único código-base. Combinando uma linguagem de programação, o Dart, com um conjunto abrangente de widgets personalizáveis, o Flutter oferece uma experiência de desenvolvimento rápida, eficiente e consistente.

**Google Cloud Run:** Serviço de computação em contêiner totalmente gerenciado oferecido pela Google Cloud Platform [Google 2024b]. Ele permite aos desenvolvedores implantar e executar facilmente aplicativos em contêineres sem se preocupar com a infraestrutura subjacente. O Cloud Run suporta contêineres do Docker [Docker, Inc. 2024] e oferece integração perfeita com outras ferramentas e serviços do Google Cloud.

**Python:** Linguagem de programação de alto nível, interpretada e multiparadigma, amplamente utilizada em diversos domínios, como desenvolvimento web, científico, análise de dados, automação de tarefas e desenvolvimento de jogos, entre outros.

**Flask:** Framework de desenvolvimento web em Python que facilita a criação de aplicativos web simples, rápidos e escaláveis. Flask oferece flexibilidade para personalizar e estender funcionalidades conforme necessário, tornando-o uma escolha popular para o desenvolvimento de projetos web de todos os tamanhos.

## 7. REQUISITOS

### 7.1. Requisitos Funcionais

ID	Requisito Funcional
RF1	O sistema deve permitir que os usuários façam login utilizando suas contas do Google ou da própria plataforma.
RF2	O sistema deve permitir que os usuários realizem o próprio cadastro na plataforma.
RF3	O sistema deve permitir que os usuários recuperem sua senha.
RF4	O sistema deve fornecer aos usuários um gráfico que exiba a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos.
RF5	Os usuários devem visualizar os locais onde ocorreram eventos climáticos extremos anteriormente.
RF6	O sistema deve fornecer um painel de configurações onde os usuários possam alterar o idioma do aplicativo, mudar a localização e habilitar/desabilitar notificações.
RF7	O sistema deve fornecer informações detalhadas sobre eventos climáticos extremos, incluindo causas, impactos e medidas preventivas.
RF8	Os usuários devem poder ajustar o intervalo de tempo para visualização de previsões climáticas, permitindo uma análise mais detalhada.
RF9	O sistema deve fornecer mapa de precipitação pluviométrica, pressão atmosférica e dispersão de nuvens.
RF10	O sistema permitir o usuário acessar as principais notícias em relação a eventos extremos.

**Tabela 6. Requisitos Funcionais do Sistema Pandora**

## 7.2. Requisitos Não-Funcionais

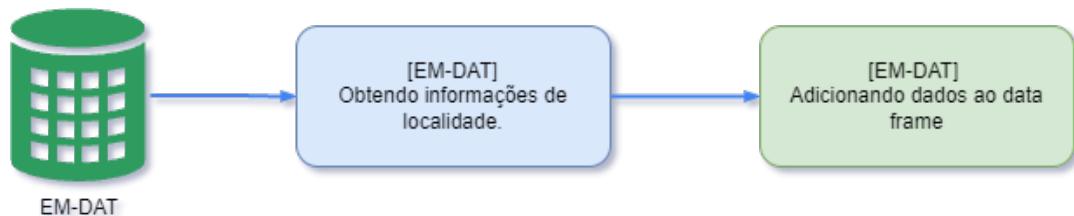
ID	Requisito Não-Funcional	Categoria
RNF1	O sistema deve ser responsivo e apresentar baixa latência, garantindo uma experiência de usuário fluida.	Performance
RNF2	Consultas e escritas no banco de dados Firestore devem ser eficientes para lidar com grandes volumes de dados.	Performance
RNF3	O sistema deve ter uma alta disponibilidade, garantindo acesso contínuo e sem interrupções aos usuários.	Disponibilidade
RNF4	O Firebase Firestore deve fornecer uma SLA adequada para garantir uma disponibilidade confiável do banco de dados.	Disponibilidade
RNF5	O acesso aos dados do usuário no Firestore deve ser restrito apenas a usuários autorizados.	Segurança
RNF6	Deve ser implementada autenticação segura para garantir que apenas usuários autenticados tenham acesso ao sistema.	Segurança
RNF7	Os dados sensíveis dos usuários devem ser criptografados antes de serem armazenados no Firestore.	Segurança
RNF8	O sistema deve ser desenvolvido usando Flutter para aproveitar os benefícios do desenvolvimento cross-platform.	Portabilidade
RNF9	O código-fonte do sistema deve ser estruturado e documentado de forma clara para facilitar a manutenção futura.	Manutenibilidade
RNF10	O sistema deve ser escalável, capaz de lidar com um aumento significativo no número de usuários e de dados.	Escalabilidade
RNF11	O sistema deve ser compatível com diferentes plataformas de nuvem, caso haja a necessidade de migração.	Interoperabilidade

**Tabela 7. Requisitos Não-Funcionais do Sistema Pandora**

## 8. DESIGN

### 8.1. Visão arquitetural detalhada: Módulo GOOGLE COLAB

Primeira etapa no processo de inserção de dados no ambiente de dados. A inserção de dados é feita a partir da base de dados EM-DAT, utilizando arquivo no formato XLSX. Este processo, apresentado na figura 4, permite ler e compreender os dados que serão utilizados nos processos seguintes.



**Figura 4. Pandora Analytics: Inserção de dados (I)**

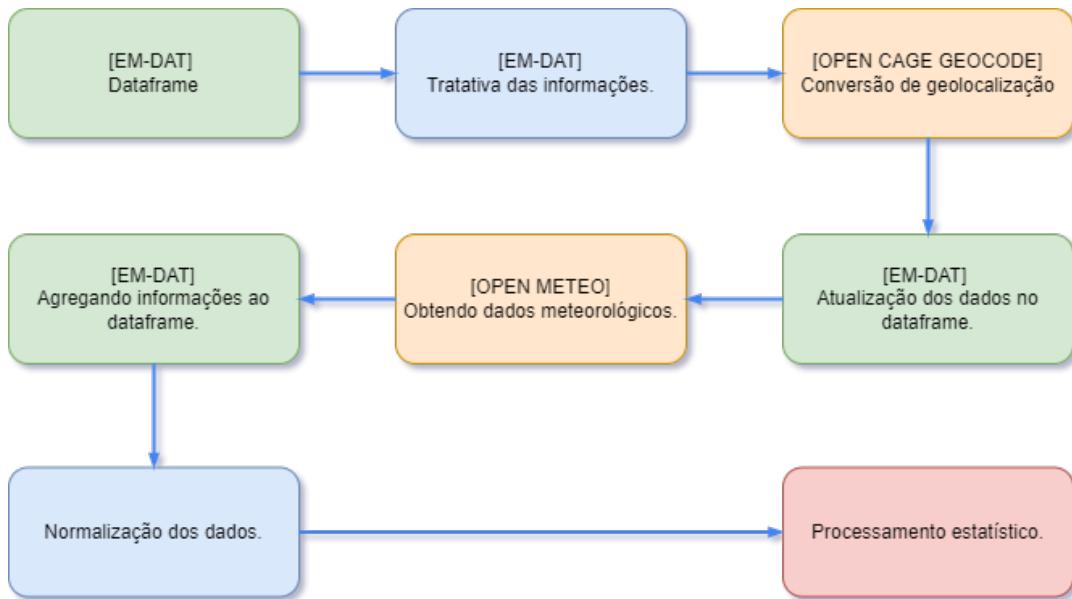
O código demonstrado no **Listing 1**, utiliza a biblioteca Pandas para ler um arquivo Excel e armazenar seu conteúdo em um DataFrame.

```
1 # Read an Excel file into a Pandas DataFrame
2 # The file path is constructed dynamically using userdata dictionary
3 # The sheet_name parameter specifies the sheet to read, using index
4 # 0 and the sheet name "EM-DAT Data"
5 # usecols parameter specifies which columns to read from the Excel
6 # file
7 df = pd.read_excel(
8     f"{userdata.get('notebook_path')}/{userdata.get('file_path')}.
9         xlsx", # File path constructed using userdata
10    sheet_name=[0, "EM-DAT Data"], # Read from index 0 and sheet
11        named "EM-DAT Data"
12    usecols='A, G, K, N, Z, AA, AB, AC, AD, AE' # Read specific
13        columns
14 )
```

**Listing 1. Python: Capturando informações da base de dados EM-DAT**

Na segunda etapa, os dados massivos passam por um processo de transformação, conforme ilustrado na figura 5. Esse processo visa criar uma estrutura adequada para consulta.

A transformação envolve a configuração correta da estrutura de dados (representados em azul), conversão dos dados utilizando serviços externos de geolocalização e dados meteorológicos (representados em amarelo). Isso é feito para efetuar a concatenação de todas as informações necessárias, garantindo que o processamento estatístico seja realizado de forma mais eficiente e precisa.



**Figura 5. Pandora Analytics: Transformação de dados (II)**

A etapa de **tratativa das informações** é representada logo abaixo pelo **Listing 2**. Este código realiza duas operações principais:

- Especificação do tipo de dado para cada coluna;
- Preenchimento de valores vazios e conversão de tipos de dados.

```

1 _data_type = {
2     'DisNo.': str,           # Disaster number as string
3     'Disaster_Subtype': str, # Disaster subtype as string
4     'Country': str,         # Country name as string
5     'Location': str,        # Location as string
6     'Start_Year': int,       # Start year as integer
7     'Start_Month': int,      # Start month as integer
8     'Start_Day': int,        # Start day as integer
9     'End_Year': int,         # End year as integer
10    'End_Month': int,        # End month as integer
11    'End_Day': int          # End day as integer
12 }
13
14 # Fill NaN values in the 'EM-DAT Data' sheet with 0 and convert
15 # columns to specified data types
15 df = df['EM-DAT Data'].fillna(0).astype(_data_type)

```

**Listing 2. Python: Configurando estrutura de dados inicial**

No **Listing 3**, é apresentada a função que realiza uma pesquisa de informações de localização.

```

1 def get_location_info(location, country):
2     # Combine the location and country into a single query
3     location_join = ", ".join([location, country])

```

```

4   # Search for location information using the combined query
5   result = search_location(query=location_join)
6   if result:
7       #index = get_max_index(result, "confidence")
8       index = 0
9       location_info = {
10           # ... General property mapping
11           'Latitude': result[index]["geometry"]["lat"],    #
12               Latitude
13           'Longitude': result[index]["geometry"]["lng"],   #
14               Longitude
15           'Timezone': result[index]["annotations"]["timezone"]["name"]  # Timezone
16       }
17       return location_info
# If no location information is found, return None
18   return None

```

**Listing 3. Python: Etapa de pré-chamada ao serviço OPEN CAGE GEOCODE**

A etapa de **atualização dos dados no dataframe** é representada logo abaixo através do **Listing 4**, onde este código realiza duas operações principais:

- Especificação do tipo de dado para cada coluna;
- Conversão de tipos de dados.

```

1 _data_type = {
2     'DisNo': str,                      # Disaster number as string
3     'Disaster_Subtype': str,          # Disaster subtype as string
4     'Country': str,
5     'Continent': str,
6     'Formatted': str,
7     'Latitude': str,                  # Latitude as string
8     'Longitude': str,                # Longitude as string
9     'Start_Date': object,            # Start date as object (will be
10        parsed)
11     'End_Date': object,            # End date as object (will be
12        parsed)
13     'Timezone': object
14 }
15
16 # Create a DataFrame from the _locale_structure list and convert
17 # columns to specified data types
18 df = pd.DataFrame(_locale_structure).astype(_data_type)

```

**Listing 4. Python: Atualizando estrutura de dados no novas informações**

A etapa **obtendo dados meteorológicos** é representado logo abaixo através do **Listing 5**, onde é efetuado a busca e o processamento das informações meteorológicas históricas relevantes para desastres naturais específicos, possibilitando análises detalhadas sobre a relação entre desastres e condições meteorológicas.

```

1 def search_info_weather(id, disaster_subtype, country, continent,
2                         formatted, latitude, longitude, start_date, end_date, timezone):
3
4     # ... Define parameters for API request
5
6     # Call Open-Meteo API to retrieve weather data
7     responses = openmeteo.weather_api(userdata.get(
8         'api_url_openmeteo_historical'), params=params)
9
10    # Process first location. Add a for-loop for multiple locations
11       or weather models
12    response = responses[0]
13
14    # Process daily weather data
15    daily = response.Daily()
16    variables = [daily.Variables(i).ValuesAsNumpy() for i in range
17                  (13)]
18    variable_names = [
19        "temperature_2m_max",
20        "temperature_2m_min",
21        "apparent_temperature_max",
22        "apparent_temperature_min",
23        "precipitation_sum",
24        "rain_sum",
25        "snowfall_sum",
26        "precipitation_hours",
27        "wind_speed_10m_max",
28        "wind_gusts_10m_max",
29        "wind_direction_10m_dominant",
30        "shortwave_radiation_sum",
31        "et0_fao_evapotranspiration"
32    ]
33
34    # Populate daily data dictionary with weather information
35    # ... General property mapping
36    # Add weather variables to daily data dictionary
37    for name, values in zip(variable_names, variables):
38        daily_data[name] = values
39
40    return daily_data

```

**Listing 5. Python: OPEN-METEO - Historical Weather API**

A etapa de **agregando informações ao dataframe** é representado logo abaixo através do **Listing 6**:

```

1 # Initialize an empty list to store weather information
2 _weather_structure = []
3
4 # Iterate over each row in the DataFrame and retrieve weather

```

```

1     information
2     for i, infos in df.query('Disaster_Subtype != "Mudslide" and
3                               Disaster_Subtype != "Drought" and Disaster_Subtype != "Severe
4                               weather" and Disaster_Subtype != "Landslide, wet" and
5                               Disaster_Subtype != "Tornado" and Disaster_Subtype != "Lightning/
6                               Thunderstorms"').iterrows():
7         # Call the search_info_weather function to retrieve weather
8         # information
9         _info = search_info_weather(
10            id=infos['DisNo.'],                                # Disaster
11            number=
12            disaster_subtype=infos['Disaster_Subtype'],      # Disaster
13            subtype=
14            country=infos['Country'],
15            continent=infos['Continent'],
16            formatted=infos['Formatted'],
17            latitude=infos['Latitude'],                      # Latitude
18            longitude=infos['Longitude'],                   # Longitude
19            start_date=infos['Start_Date'],                 # Start date
20            end_date=infos['End_Date'],                     # End date
21            timezone=infos['Timezone'])                    # Timezone
22        )
23        # Append the retrieved weather information to the
24        # _weather_structure list
25        _weather_structure.append(_info)

```

**Listing 6. Python: Atualizando estrutura de dados no novas informações**

A etapa de **processamento estatístico** é representado logo abaixo através do **Listing 7**, onde é efetuado o cálculo final:

```

1 def calculate_percentage_similarity(correlation_1, correlation_2):
2     statistic, p_value = ttest_ind(correlation_1.flatten(),
3                                     correlation_2.flatten())
4     print(f"Coeficiente de correlacao estatistica: {statistic} : {p_value}")
5     return p_value * 100
6
7 percentage_similarities = [calculate_percentage_similarity(np.array(
8     correlation_matrix), np.array(forecast_corr)) for
9     correlation_matrix in [rf_corr, cw_corr, ff_corr, tc_corr,
10    hw_corr, sg_corr, fg_corr]]

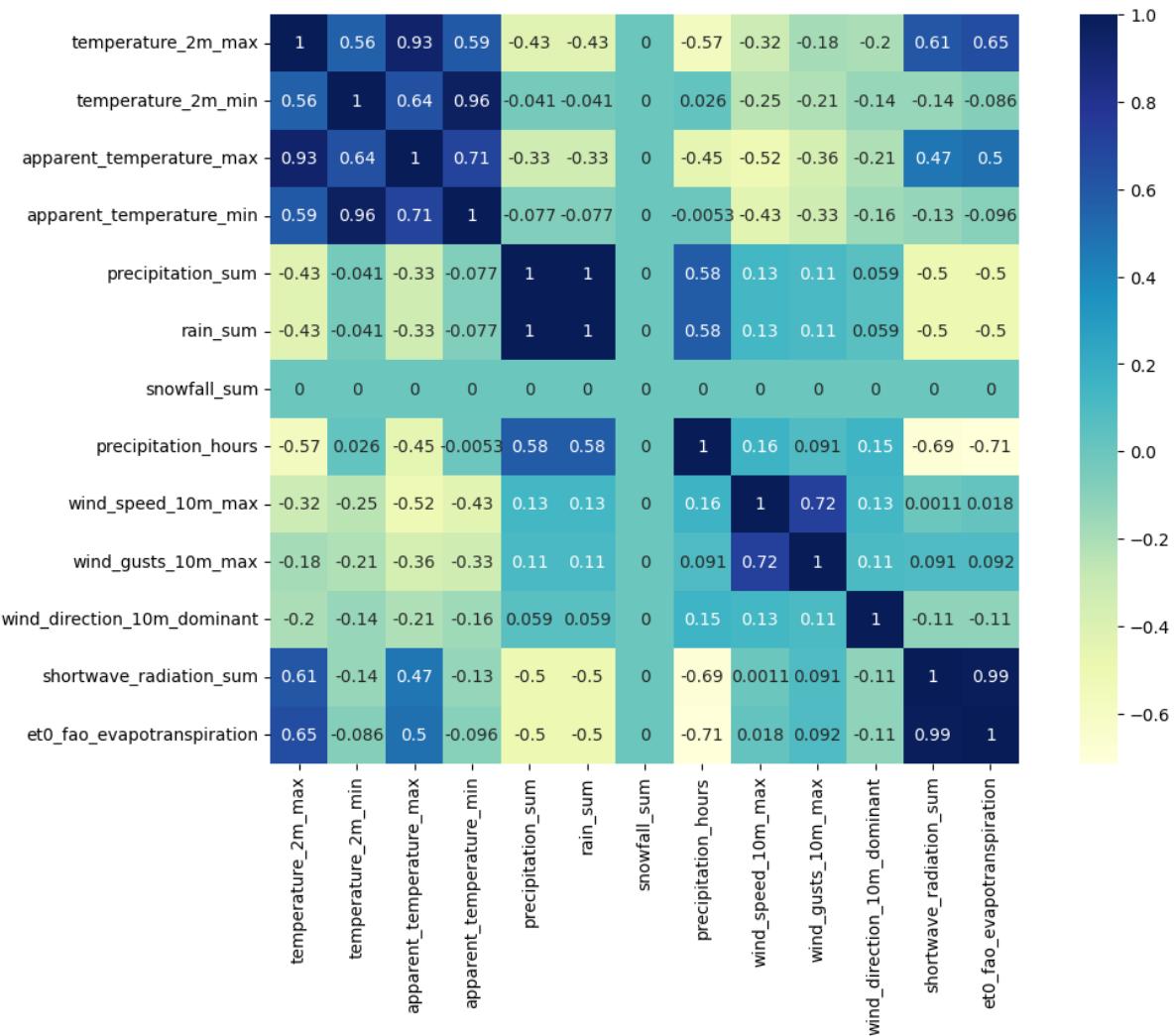
```

**Listing 7. Python: Calculo de semelhança entre correlações**

Este trecho de código calcula a similaridade percentual entre cada par de matrizes de correlação e imprime se elas são estatisticamente diferentes ou não. Em seguida, ele tenta visualizar essas similaridades percentuais usando um gráfico de barras, mas a implementação real da geração do gráfico de barras está ausente.

### 8.1.1. Resultados obtidos: cálculo de correlação estatística

Os resultados obtidos no calculo de correlação pode ser visualizado na figura 6, onde é possível notar a interação entre as variáveis. A correlação estatística é uma medida que indica a relação entre duas variáveis. Se o resultado tende a 1, isso significa que as variáveis têm uma correlação positiva perfeita, ou seja, elas se movem na mesma direção de forma linear. Um resultado próximo de 0 indica que não há correlação linear entre as variáveis. E quando tende a -1, há uma correlação negativa perfeita, indicando que as variáveis se movem em direções opostas de forma linear.

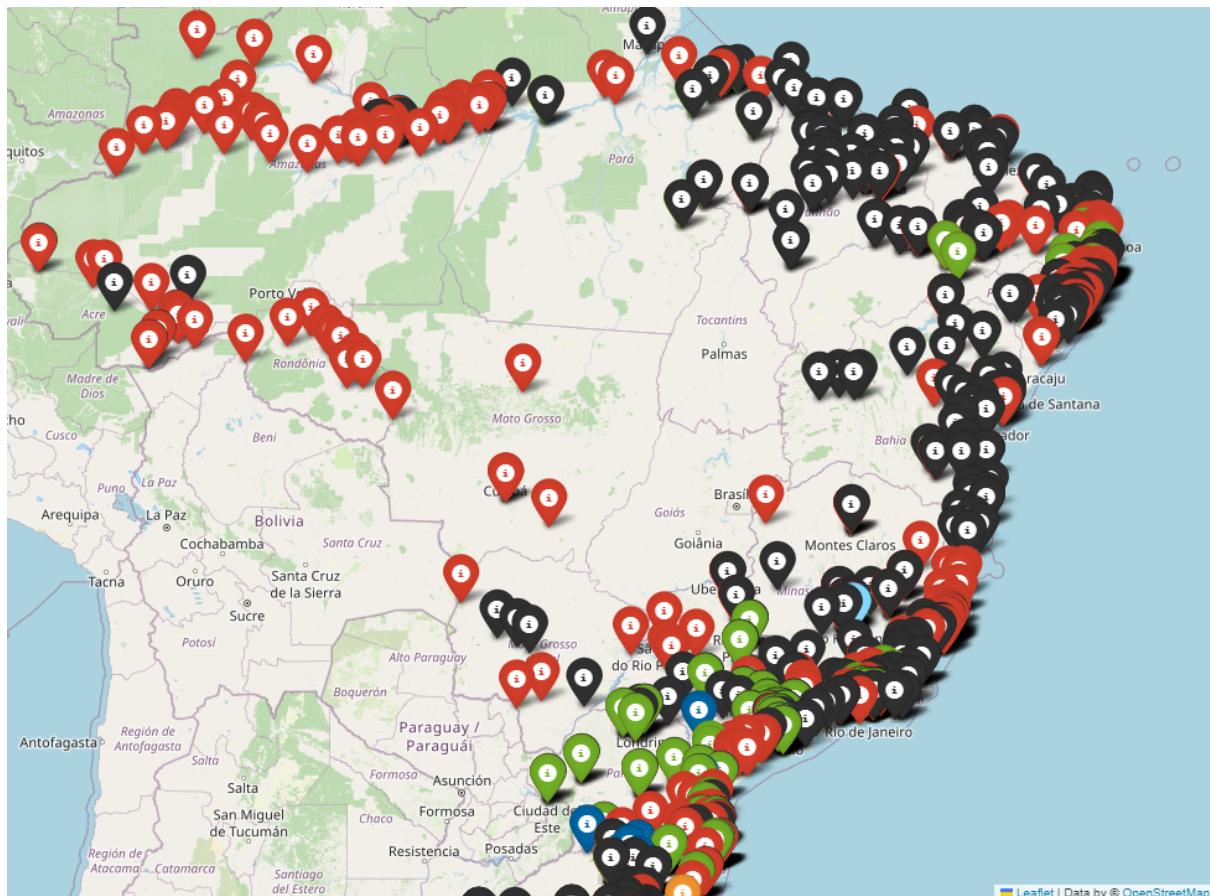


**Figura 6. Inundação ribeirinha: Resultado do cálculo de correlação estatística**

No escopo da inundação ribeirinha, é possível observar a convergência de determinadas variáveis em relação ao restante do conjunto de dados. A partir dessas informações, pode-se aplicar o cálculo de semelhança para determinar se a correlação entre as informações de previsão e os dados de inundação ribeirinha é compatível. Isso permite determinar o percentual de similaridade entre eles.

### 8.1.2. Resultados obtidos: mapa brasileiro

Na figura 7, destaca a presença de eventos extremos no Brasil ocorrendo principalmente na região litorânea e na região da Amazônia devido a diversas condições climáticas e geográficas específicas dessas áreas. A região litorânea, por sua proximidade ao oceano Atlântico, é particularmente vulnerável a ciclones tropicais, tempestades e inundações generalizadas, que são frequentemente alimentados pela umidade e energia do oceano. A combinação de relevo e altos índices pluviométricos contribui para enxurradas e inundações ribeirinhas, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas.

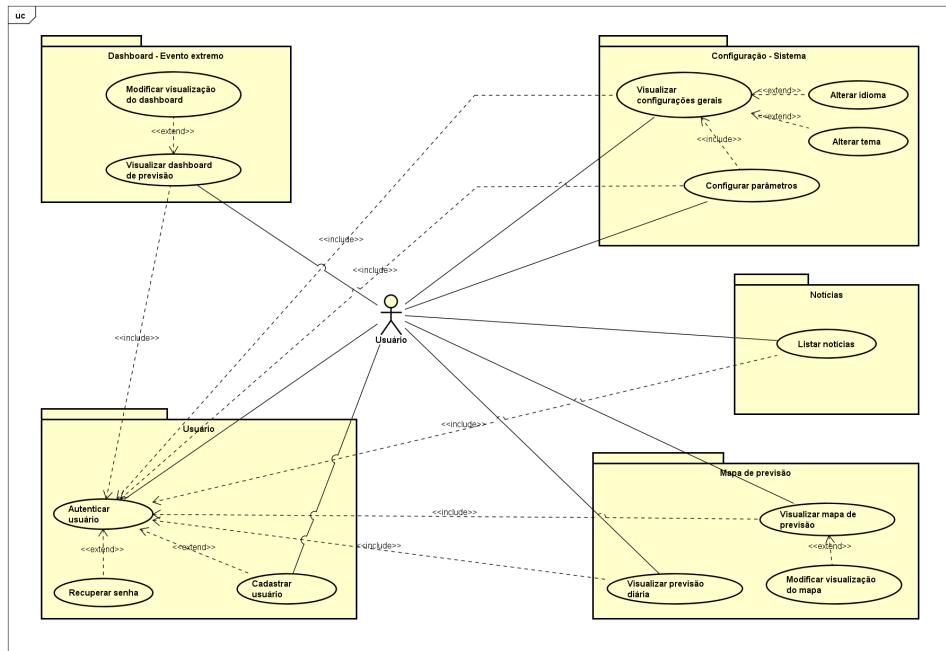


**Figura 7. Mapa de registros de eventos extremos no Brasil**

A Amazônia, com seu clima equatorial, enfrenta eventos como ondas de calor e tempestades generalizadas, devido às altas temperaturas e intensa umidade. A densa vegetação e os vastos rios da região podem levar a inundações ribeirinhas significativas. Ondas frias, apesar de menos comuns, podem ocorrer quando massas de ar polar se deslocam para o norte, afetando também o clima amazônico. As tempestades extratropicais, mais frequentes no sul do Brasil, podem se mover para áreas costeiras, exacerbando eventos climáticos na região litorânea.

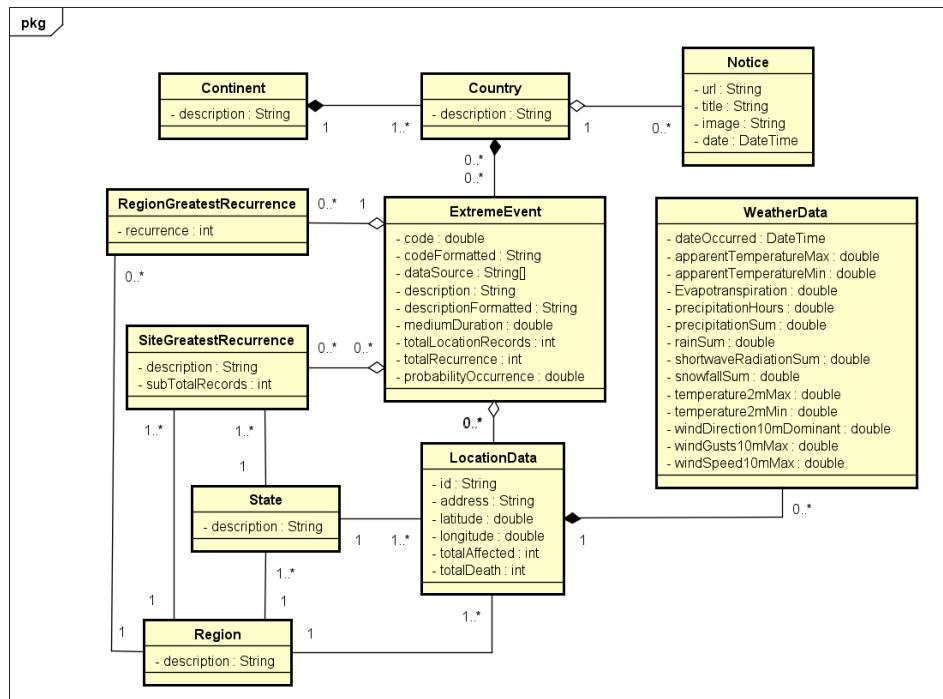
## 8.2. Projeto UML

Na figura 8, é apresentado o diagrama de casos de uso do sistema PANDORA.



**Figura 8. Diagrama de casos de uso**

Na figura 9, é apresentado o diagrama de classe do sistema PANDORA.



**Figura 9. Diagrama de classe**

### 8.3. Modelo de banco de dados (NoSQL - Coleção/Documento)

A estrutura de dados utilizada no Firebase Firestore é organizada em coleções e documentos, formando uma hierarquia. No contexto do projeto PANDORA, que atualmente está focado no Brasil, essa organização permite uma fácil expansão. Caso o escopo do projeto seja ampliado para incluir outros países, seria necessário apenas criar uma nova coleção para cada país correspondente, mantendo a estrutura hierárquica e facilitando a gestão e o acesso aos dados. Na figura 10, está o modelo que chega mais perto da representatividade do banco de dados.

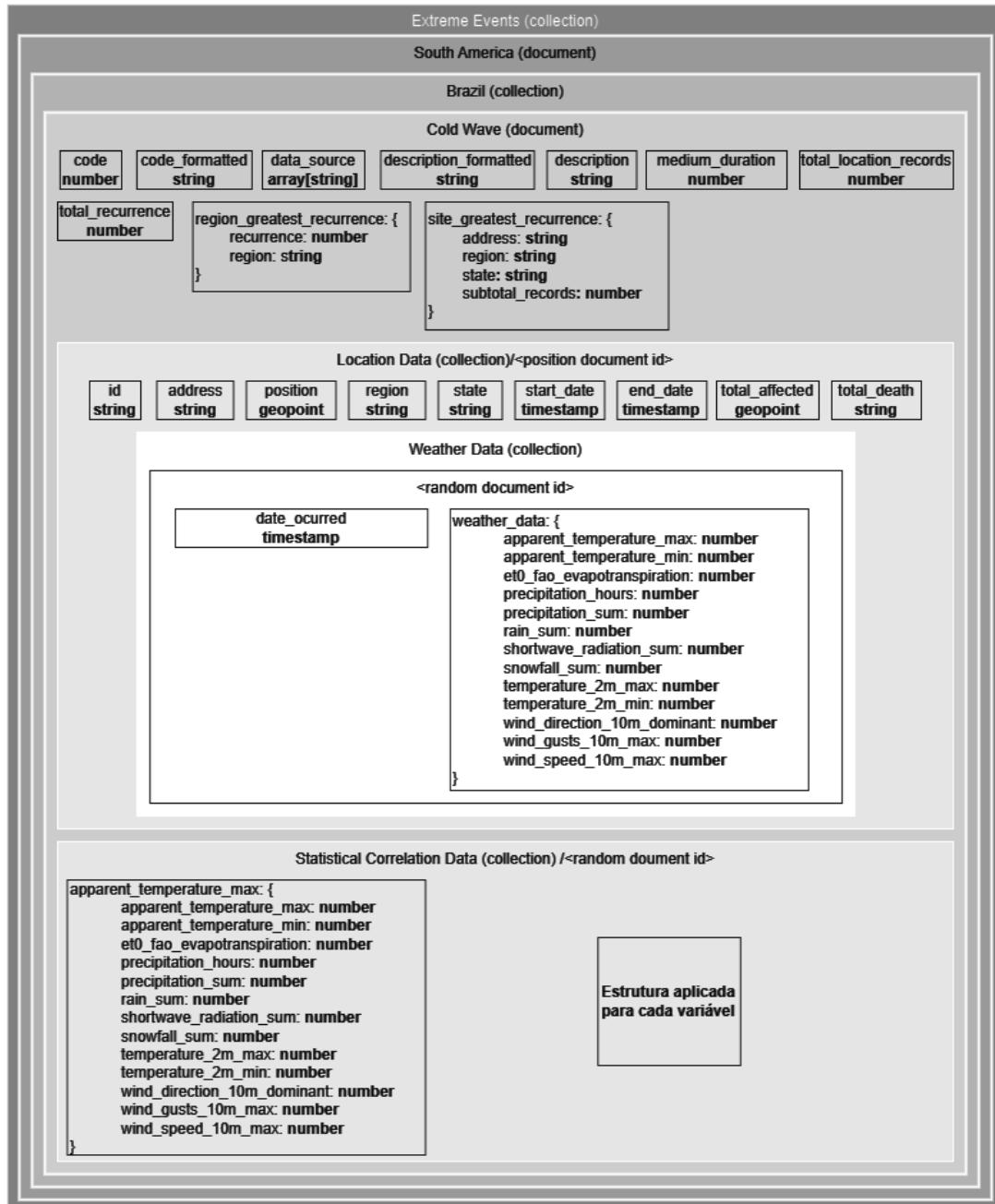


Figura 10. Modelo de dados - NoSQL

## 9. TESTE DE SOFTWARE

### 9.1. Projeto de testes

#### 9.1.1. Testes unitários

Os testes automatizados desempenham um papel fundamental na garantia da qualidade do aplicativo [Beck 2003][Fowler 2018]. Os resultados revelaram que todos os testes foram concluídos com sucesso, indicando que as funcionalidades testadas operam conforme o esperado. Os testes unitários foram aplicados às classes de modelo e componentes fundamentais da aplicação.

Cada teste apresentou um tempo de execução específico, variando de alguns milissegundos a segundos, refletindo a diversidade de complexidade e cobertura dos testes realizados. Os resultados positivos servem para validar não apenas unidades isoladas do código, mas também a integração funcional entre componentes do aplicativo [Beck, 2003]. Essa abordagem abrangente é essencial para mitigar falhas e garantir a estabilidade do aplicativo [Fowler 2018].



Figura 11. TELA - Painel principal

Além disso, o projeto PANDORA preza pela importância de práticas contínuas de manutenção e integração de testes automatizados. A utilização do IntelliJ IDEA como ambiente de desenvolvimento facilitou a execução e a análise dos testes, oferecendo recursos robustos para relatórios e monitoramento contínuo da qualidade do código. Dessa forma, potencializando o desenvolvimento das melhores práticas em testes automatizados em projetos Flutter, destacando a necessidade de cobertura abrangente e integração contínua para garantir a confiabilidade e a eficiência do software desenvolvido.

### **9.1.2. Casos de teste**

#### **Caso de Teste: Login com Conta do Google ou Plataforma**

##### **TC001 - Verificar login utilizando conta do Google**

###### **Pré-condições:**

- O aplicativo de previsão climática está instalado e funcionando no dispositivo do usuário.
- O usuário possui uma conta do Google.

###### **Passos:**

1. Abrir o aplicativo de previsão climática.
2. Na tela de login, selecionar a opção "Login com Google".
3. Selecionar a conta do Google na lista de contas disponíveis (ou inserir as credenciais do Google, se solicitado).
4. Conceder as permissões necessárias para o aplicativo acessar as informações da conta do Google.

###### **Resultados Esperados:**

- O usuário é redirecionado para a tela de seleção de conta do Google.
- O usuário consegue selecionar uma conta do Google ou inserir as credenciais corretamente.
- Após conceder as permissões, o usuário é autenticado e redirecionado para a tela inicial do aplicativo.

##### **TC002 - Verificar login utilizando conta da própria plataforma**

###### **Pré-condições:**

- O aplicativo de previsão climática está instalado e funcionando no dispositivo do usuário.
- O usuário possui uma conta na plataforma do aplicativo.

###### **Passos:**

1. Abrir o aplicativo de previsão climática.
2. Na tela de login, inserir o e-mail e a senha da conta da plataforma.
3. Clicar no botão de login.

###### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue inserir as credenciais da conta da plataforma.
- Após clicar no botão de login, o usuário é autenticado e redirecionado para a tela inicial do aplicativo.

## **Caso de Teste: Cadastro na Plataforma**

### **TC003 - Verificar cadastro de novo usuário na plataforma**

#### **Pré-condições:**

- O aplicativo de previsão climática está instalado e funcionando no dispositivo do usuário.

#### **Passos:**

1. Abrir o aplicativo de previsão climática.
2. Na tela de login, selecionar a opção "Cadastrar-se".
3. Preencher os campos obrigatórios (nome, e-mail, senha, etc.).
4. Clicar no botão de cadastro.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a tela de cadastro.
- O usuário preenche todos os campos obrigatórios corretamente.
- Após clicar no botão de cadastro, o usuário é registrado na plataforma e redirecionado para a tela inicial do aplicativo.

## **Caso de Teste: Recuperação de Senha**

### **TC004 - Verificar recuperação de senha**

#### **Pré-condições:**

- O aplicativo de previsão climática está instalado e funcionando no dispositivo do usuário.
- O usuário possui uma conta na plataforma do aplicativo.

#### **Passos:**

1. Abrir o aplicativo de previsão climática.
2. Na tela de login, selecionar a opção "Esqueceu a senha?".
3. Inserir o e-mail associado à conta da plataforma.
4. Clicar no botão para enviar o e-mail de recuperação.
5. Acessar o e-mail e seguir as instruções para redefinir a senha.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a opção de recuperação de senha.
- O usuário insere o e-mail associado à conta e envia a solicitação de recuperação.
- O usuário recebe um e-mail com instruções para redefinir a senha e consegue redefini-la com sucesso.

## **Caso de Teste: Exibição de Gráfico de Eventos Climáticos Extremos**

### **TC005 - Verificar exibição de gráfico de eventos climáticos extremos**

#### **Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.
- O aplicativo possui dados de eventos climáticos extremos.

#### **Passos:**

1. Navegar até a seção do aplicativo que exibe o gráfico de eventos climáticos extremos.
2. Verificar se o gráfico é exibido corretamente, mostrando a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a seção que exibe o gráfico.
- O gráfico é exibido corretamente, mostrando a probabilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos de forma clara e compreensível.

## **Caso de Teste: Visualização de Locais com Eventos Climáticos Extremos**

### **Anteriores**

### **TC006 - Verificar visualização de locais com eventos climáticos extremos anteriores**

#### **Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.
- O aplicativo possui dados históricos de eventos climáticos extremos.

#### **Passos:**

1. Navegar até a seção do aplicativo que exibe os locais onde ocorreram eventos climáticos extremos anteriormente.
2. Verificar se os locais são exibidos corretamente no mapa ou lista.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a seção que exibe os locais históricos de eventos climáticos extremos.
- Os locais são exibidos corretamente no mapa ou lista, com detalhes sobre cada evento.

## **Caso de Teste: Painel de Configurações**

### **TC007 - Verificar painel de configurações**

#### **Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.

#### **Passos:**

1. Navegar até o painel de configurações do aplicativo.
2. Verificar se o usuário consegue alterar o idioma do aplicativo.
3. Verificar se o usuário consegue mudar a localização padrão.
4. Verificar se o usuário consegue habilitar/desabilitar notificações.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar o painel de configurações.
- O usuário consegue alterar o idioma do aplicativo.
- O usuário consegue mudar a localização padrão.
- O usuário consegue habilitar/desabilitar notificações com sucesso.

## **Caso de Teste: Informações Detalhadas sobre Eventos Climáticos Extremos**

### **TC008 - Verificar exibição de informações detalhadas sobre eventos climáticos extremos**

#### **Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.
- O aplicativo possui dados de eventos climáticos extremos.

#### **Passos:**

1. Navegar até a seção do aplicativo que exibe informações sobre eventos climáticos extremos.
2. Selecionar um evento específico para visualizar detalhes.
3. Verificar se as informações detalhadas sobre o evento são exibidas corretamente, incluindo causas, impactos e medidas preventivas.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a seção que exibe informações sobre eventos climáticos extremos.
- As informações detalhadas sobre o evento selecionado são exibidas corretamente, incluindo causas, impactos e medidas preventivas.

## **Caso de Teste: Ajuste do Intervalo de Tempo para Visualização de Previsões Climáticas**

### **TC009 - Verificar ajuste do intervalo de tempo para visualização de previsões climáticas**

#### **Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.

#### **Passos:**

1. Navegar até a seção de configurações do aplicativo.
2. Ajustar o intervalo de tempo (em dias) para a visualização das previsões.
3. Verificar se as previsões são atualizadas de acordo com o intervalo de tempo selecionado.

#### **Resultados Esperados:**

- O usuário consegue ajustar o intervalo de tempo para a visualização das previsões.
- As previsões são atualizadas de acordo com o intervalo de tempo selecionado.

## **Caso de Teste: Mapa de Precipitação Pluviométrica, Pressão Atmosférica e Dispersão de Nuvens**

**TC010 - Verificar exibição do mapa de precipitação pluviométrica, pressão atmosférica e dispersão de nuvens**

**Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.
- O aplicativo possui dados de precipitação, pressão atmosférica e dispersão de nuvens.

**Passos:**

1. Navegar até a seção do aplicativo que exibe o mapa de precipitação pluviométrica.
2. Verificar se o mapa é exibido corretamente com os dados de precipitação.
3. Navegar até a seção que exibe o mapa de pressão atmosférica.
4. Verificar se o mapa é exibido corretamente com os dados de pressão.
5. Navegar até a seção que exibe o mapa de dispersão de nuvens.
6. Verificar se o mapa é exibido corretamente com os dados de dispersão de nuvens.

**Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a seção que exibe o mapa de precipitação pluviométrica.
- O mapa de precipitação é exibido corretamente.
- O usuário consegue acessar a seção que exibe o mapa de pressão atmosférica.
- O mapa de pressão é exibido corretamente.
- O usuário consegue acessar a seção que exibe o mapa de dispersão de nuvens.
- O mapa de dispersão de nuvens é exibido corretamente.

## **Caso de Teste: Notícias**

**TC010 - Verificar exibição das notícias em tempo real**

**Pré-condições:**

- O usuário está autenticado no aplicativo.
- O aplicativo possui dados das principais notícias obtidas em tempo real.

**Passos:**

1. Navegar até a seção do aplicativo que exibe as notícias.
2. Verificar se as notícias estão sendo listadas conforme esperado.

**Resultados Esperados:**

- O usuário consegue acessar a seção que exibe o mapa de precipitação pluviométrica.
- O mapa de precipitação é exibido corretamente.

## 10. IMPLANTAÇÃO

Nesta seção é detalhado o processo de implantação do escopo frontend do projeto em Flutter, utilizando Docker [Docker, Inc. 2024] para containerização e Google Cloud Run [Google 2024b] para hospedagem e escalabilidade na nuvem. Mas vale ressaltar que o mesmo processo vale para o backend em Python.

### 10.1. Construção da Imagem Docker

A construção da imagem Docker [Docker, Inc. 2024] é realizada utilizando o comando `docker build`. Este comando cria uma imagem a partir de um Dockerfile localizado no diretório do projeto.

*Obs.: foi necessário configurar o arquivo Dockerfile com as instruções necessárias para funcionar corretamente.*

**`docker build -t nandocezar/pandora-frontend:v1 .`**

Na figura 12, é exemplificado o resultado gerado a partir do comando `docker build`.

```
[+] Building 147.7s (16/16) FINISHED
=> [internal] load build definition from Dockerfile
=> => transferring dockerfile: 944B
=> [internal] load metadata for docker.io/library/dart:stable
=> [internal] load metadata for docker.io/library/nginx:alpine
=> [auth] library/nginx:pull token for registry-1.docker.io
=> [auth] library/dart:pull token for registry-1.docker.io
=> [internal] load .dockerignore
=> => transferring context: 2B
=> [build 1/6] FROM docker.io/library/dart:stable@sha256:eccb93577e56de
=> CACHED [stage-1 1/2] FROM docker.io/library/nginx:alpine@sha256:a45e
=> [internal] load build context
=> => transferring context: 1.85GB
=> CACHED [build 2/6] WORKDIR /app
=> CACHED [build 3/6] RUN apt-get update &&      apt-get install -y git
=> [build 4/6] COPY . .
=> [build 5/6] RUN flutter pub get
=> [build 6/6] RUN flutter build web
=> [stage-1 2/2] COPY --from=build /app/build/web /usr/share/nginx/html
=> exporting to image
=> => exporting layers
=> => writing image sha256:04e550270d65e8f69bca7f3192a55b01aef683c47521
=> => naming to docker.io/nandocezar/pandora-frontend:v1
```

**Figura 12. IMPLANTAÇÃO - Construindo imagem**

## 10.2. Envio da Imagem para o Docker Hub

Após a construção, a imagem Docker precisa ser enviada para um repositório de contêineres. O Docker Hub é uma opção popular para armazenar e distribuir imagens Docker.

```
docker push nandocezar/pandora-frontend:v1
```

Na figura 13, é exemplificado o resultado gerado a partir do comando docker push.

```
The push refers to repository [docker.io/nandocezar/pandora-frontend]
21151d03854c: Pushed
a51b172d7184: Pushed
b7486fe26981: Pushed
320c8baef084: Pushed
d2cef4a1b224: Pushed
4275164ce225: Pushed
6e92270dbfe6: Pushed
b5d2e1fcf1ad: Pushing [=====] 5.478MB
af9a70194aa4: Pushing [>] 101.4kB/7.396MB
□
```

Figura 13. IMPLANTAÇÃO - Publicando imagem no Docker HUB

## 10.3. Implantação no Google Cloud Run

Com a imagem Docker [Docker, Inc. 2024] disponível no Docker Hub, a próxima etapa é implantar essa imagem no Google Cloud Run [Google 2024b]. A implantação pode ser feita através do console do Google Cloud [Google 2024b] ou utilizando a linha de comando do Google Cloud SDK [Google 2024b], como demonstrado na figura 14.

```
gcloud run deploy pandora-frontend --image nandocezar/pandora-frontend:v1 --platform managed --region us-central1
```

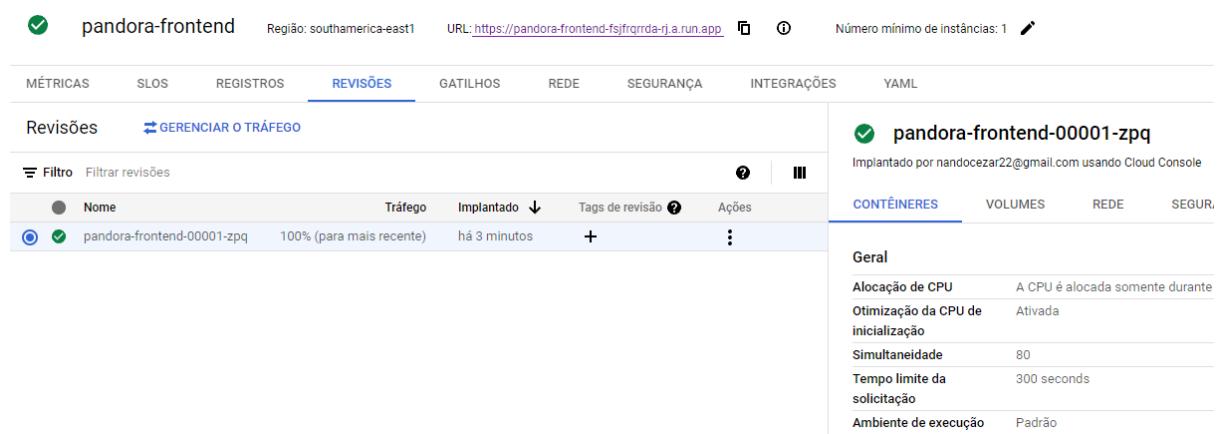


Figura 14. IMPLANTAÇÃO - Construindo imagem

A implantação utilizando Docker e Google Cloud Run proporciona uma série de benefícios, incluindo escalabilidade automática, gerenciamento simplificado e redução de custos. A utilização de contêineres Docker garante que o aplicativo funcione de maneira consistente em diferentes ambientes, desde o desenvolvimento até a produção.

## 11. MANUAL DO USUÁRIO

Esta seção apresenta as principais telas e funcionalidades do sistema PANDORA na versão web.

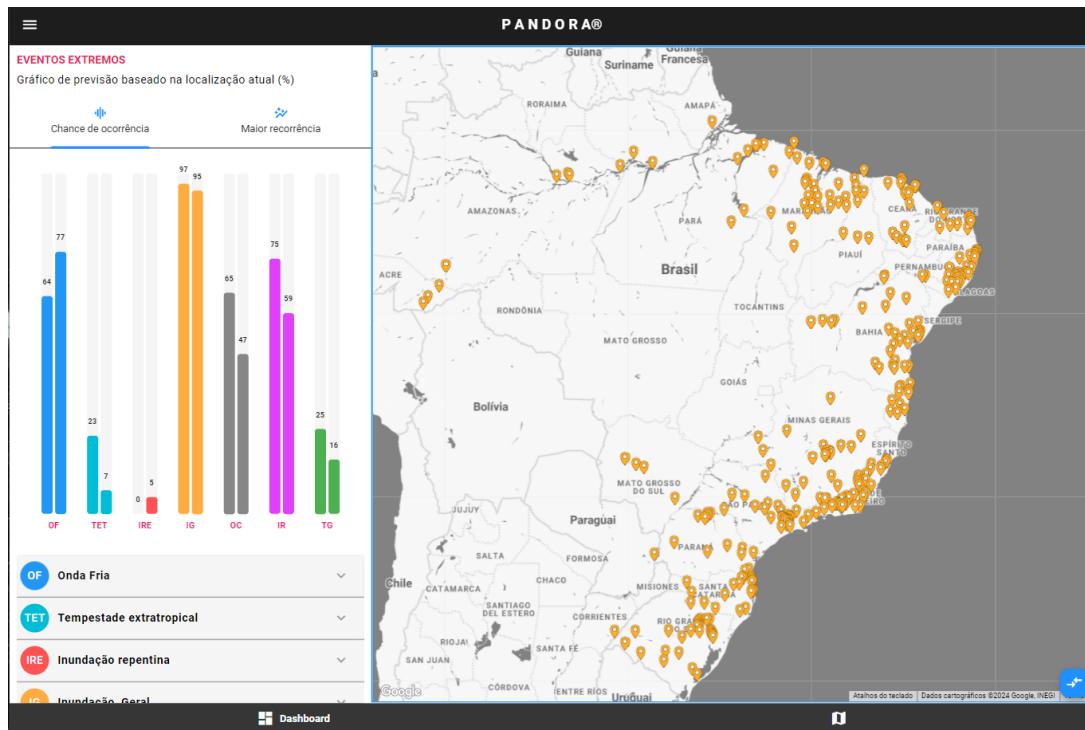


Figura 15. TELA - Painel principal

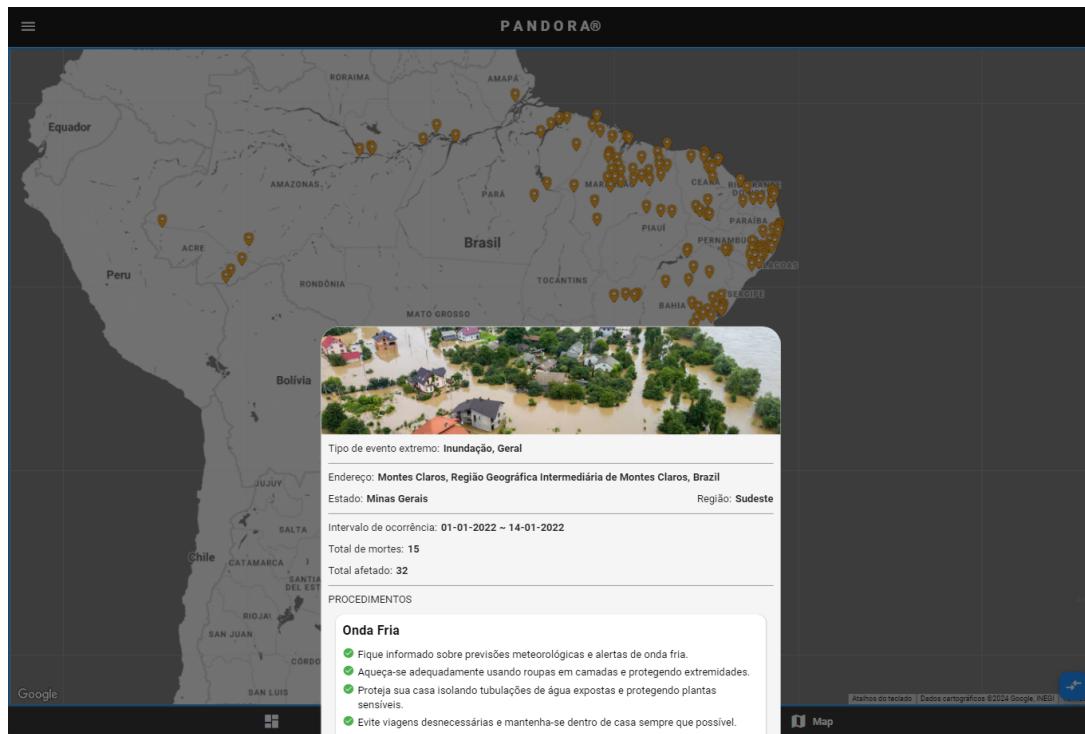
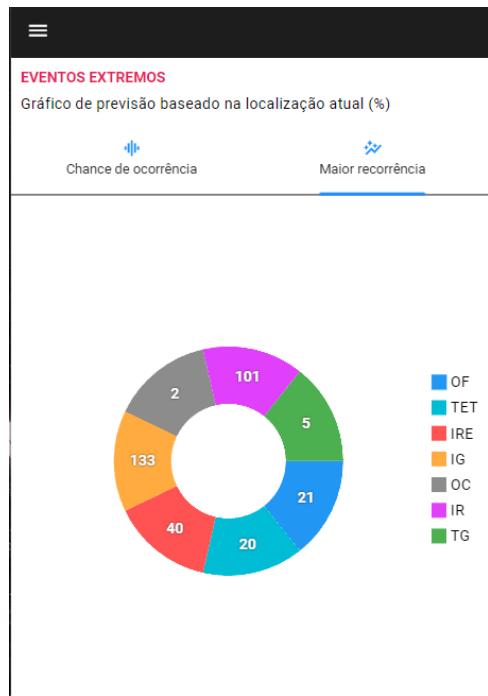


Figura 16. POPUP - Detalhamento do evento extremo

Na figura 15, é possível visualizar o painel principal do sistema, projetado para facilitar a usabilidade do usuário, independentemente da plataforma utilizada. No canto superior esquerdo do sistema, encontra-se o acesso ao menu lateral. A seção à esquerda do painel exibe as principais informações de previsibilidade. Através de um gráfico de barras, é apresentada a probabilidade estatística de ocorrência de eventos extremos específicos. Na parte inferior esquerda, são detalhados cada um desses eventos extremos.

Com o mapa interativo, é permitido ao usuário visualizar o local de ocorrência de cada incidente, conforme ilustrado na figura 16. Esse recurso proporciona uma riqueza de detalhes que facilita os estudos na área de monitoramento climático, oferecendo uma visão abrangente e detalhada dos dados necessários para análises mais precisas e informadas.



**Figura 17. Recurso - Gráfico de recorrência**

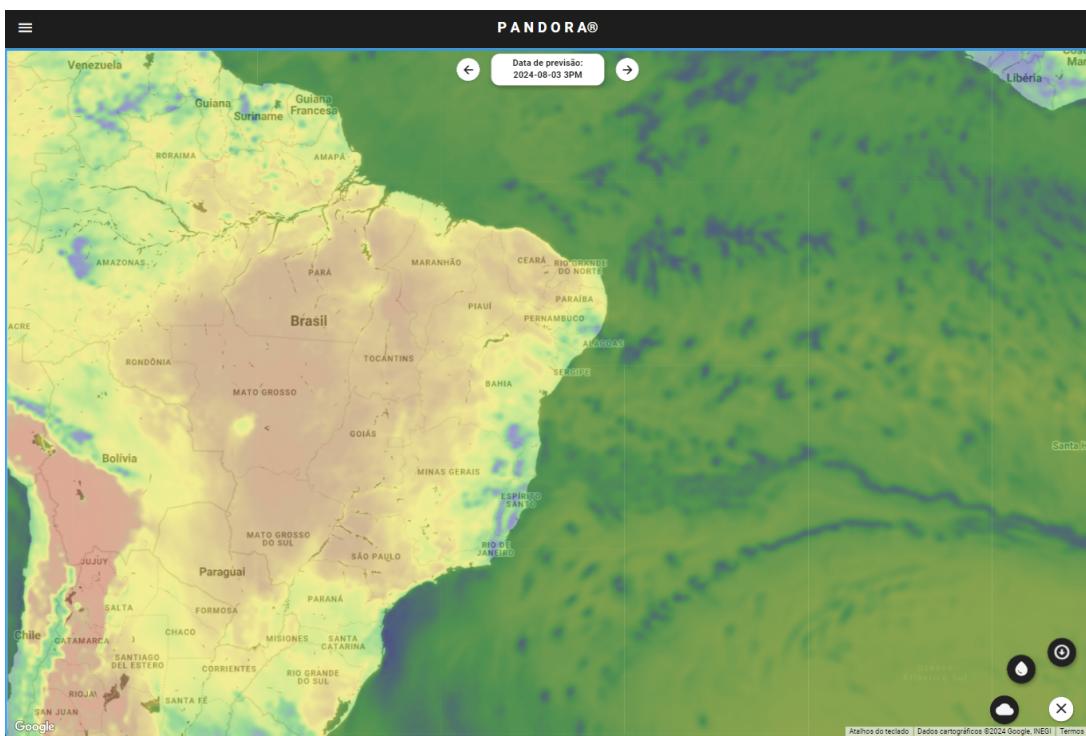
Na seleção de abas localizada na parte superior esquerda, é possível alternar entre diferentes tipos de gráficos. Na figura 17, por exemplo, é exibido um gráfico que mostra a distribuição da quantidade de recorrências categorizadas por tipo de evento extremo. Ao passar o cursor sobre uma cor no gráfico, a região correspondente a essas recorrências será destacada.

A tela de monitoramento climático permite ao usuário visualizar o mapa-múndi com três diferentes camadas de filtragem, acessíveis através dos botões localizados na parte inferior direita. Na figura 18 é apresentado a camada de filtragem para Pluviometria. As camadas adicionais estão ilustradas nas figuras 19 e 20, respectivamente. Esse tipo de mapa é importante para fornecer ao usuário maior precisão no monitoramento climático.

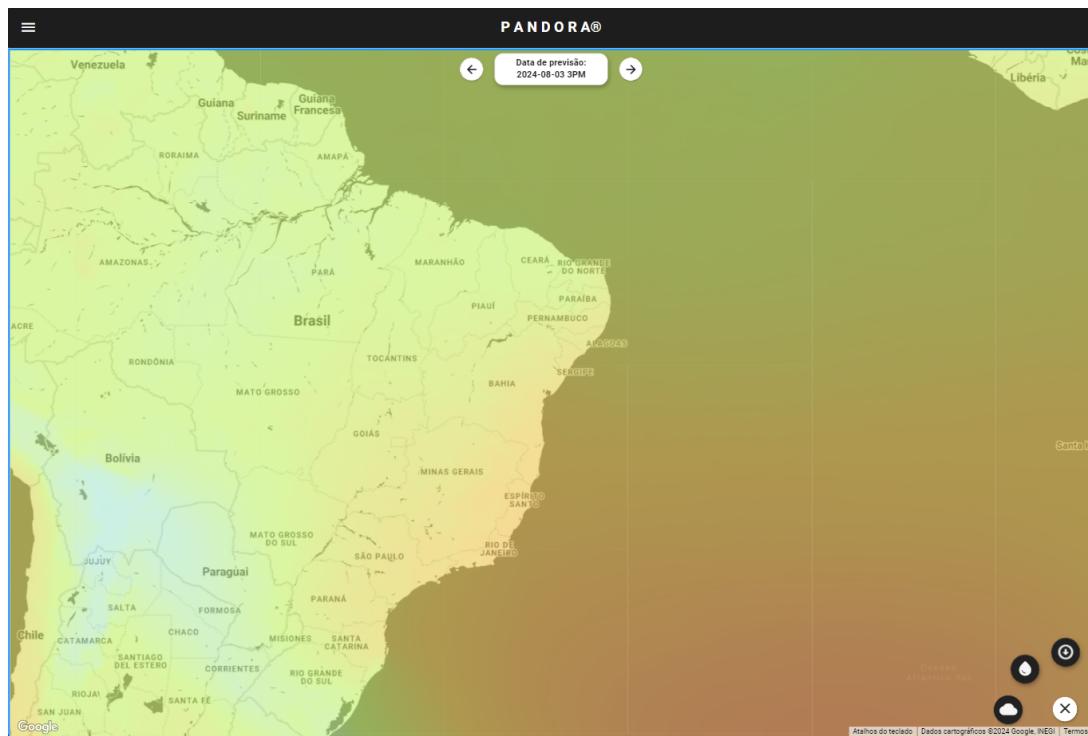
É importante destacar o recurso de alteração da data e hora do monitoramento, que facilita a visualização dos fenômenos climáticos no passado, presente e futuro.



**Figura 18. TELA - Pluviometria**

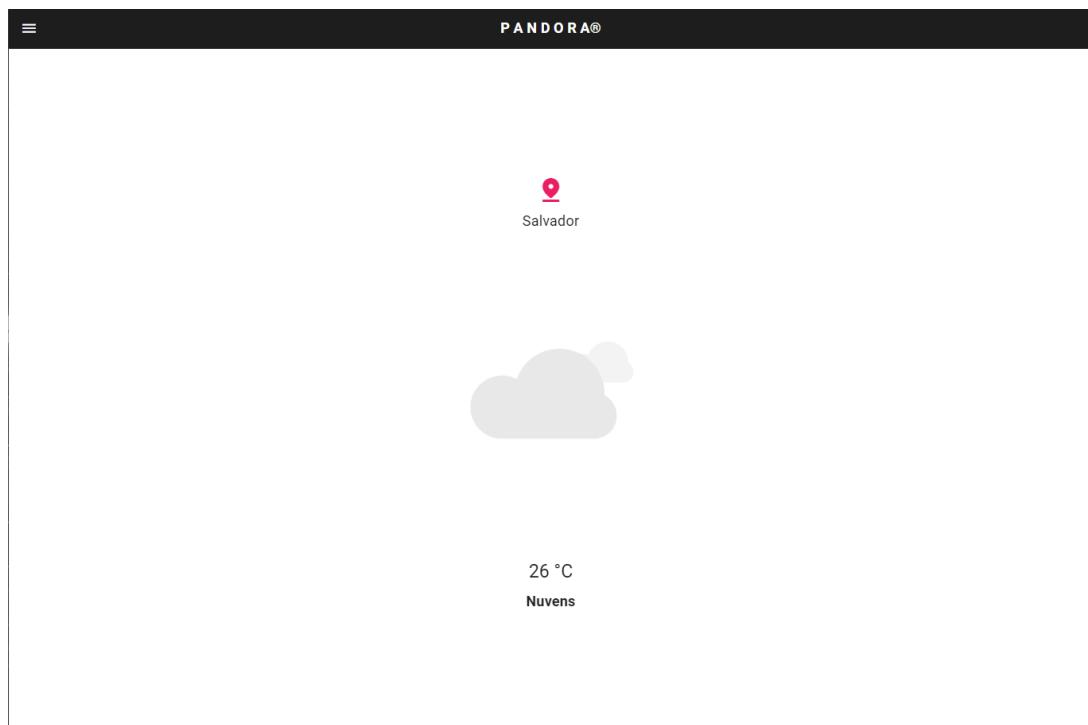


**Figura 19. TELA - Intensidade de onda fria**



**Figura 20. TELA - Pressão atmosférica**

Na figura 21, é apresentada a tela de previsão climática baseada na localidade definida na parametrização geral do sistema. De acordo com o fenômeno detectado, o sistema exibe o indicativo correspondente.



**Figura 21. TELA - Previsão climática**

Na figura 22, é demonstrado o recurso de notícias em tempo real. As informações são carregadas de forma automatizada do Google Notícias. Dessa forma, todos os usuários que utilizam do sistema PANDORA poderão se manter atualizados.

The screenshot shows a list of news items from Google News, categorized under 'PANDORA®'. Each item includes a small icon, the title of the article, the date it was published, and a right-pointing arrow indicating it can be clicked for more details. The titles cover various topics such as extreme weather preparedness, climate change science, and specific events like flooding in Brazil.

- Em tempos de eventos extremos, você sabe como se preparar para desastres? Adeptos do 'sobrevivencialismo' dão dicas (3 dias atrás)
- Não há dúvida que esses eventos extremos são associados à mudança do clima, afirma cientista (6 de mai.)
- Especialistas alertam para continuidade de eventos extremos no clima e falta de preparo do governo do DF (8 de mai.)
- Muito além da tragédia: livro aborda as relações entre modo de vida e eventos extremos do clima (4 dias atrás)
- O que são eventos climáticos extremos e por que eles são tão perigosos? (10 de mai.)
- Unicamp muda horário de vestibular por causa de 'eventos climáticos extremos' (2 dias atrás)
- Eventos Extremos - Universidade Federal do Rio Grande (14 de mai.)
- Relatório revela que Brasil teve 12 eventos climáticos extremos em 2023 (9 de mai.)
- Especialistas e deputados querem ações para minimizar eventos extremos do clima em Minas (16 de mai.)
- Inundações no Rio Grande do Sul: Estado ainda vai viver muitos eventos extremos, dizem cientistas brasileiras que colaboraram com IPCC (7 de mai.)
- Eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes e perigosos: realidade no Brasil e no mundo (17 de mai.)
- Recordes de calor e eventos extremos mostram vulnerabilidade climática da América Latina (9 de mai.)
- Mudanças climáticas tornam eventos extremos mais frequentes (22 de mar.)
- 'Não temos mais como evitar os eventos extremos', diz coordenadora do Observatório do Clima (8 de mai.)

**Figura 22. TELA - Notícias**

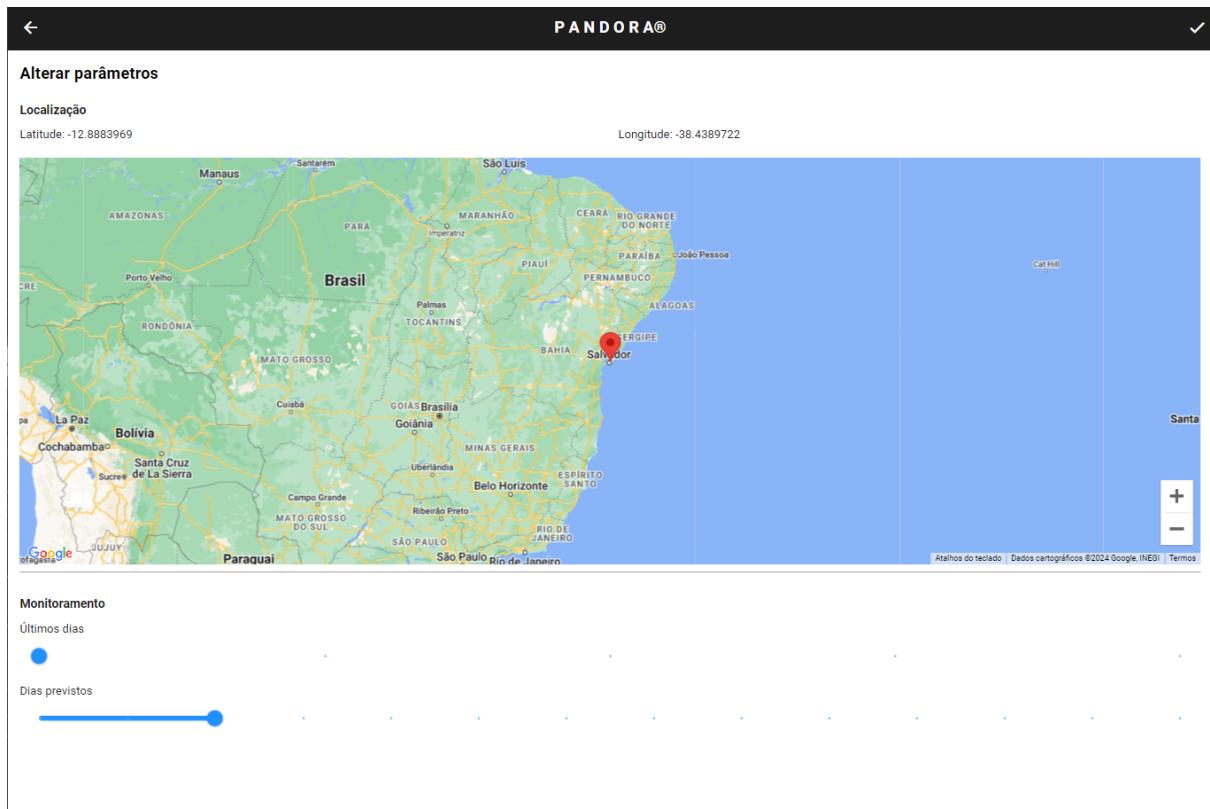
The screenshot shows the 'Configurações Gerais' (General Settings) screen. It starts with a user profile section for 'LUIS SANTOS' with an email address and creation date. Below this are two links: 'Alterar idioma' (Change language) and 'Alterar parâmetros' (Change parameters). The main configuration area is titled 'Configurações Gerais' and contains several settings with toggle switches:
 

- Modo escuro (Dark mode): Enabled (switch is on).
- Notificação recebida (Received notification): Enabled (switch is on).
- Boletim informativo recebido (Received informative bulletin): Enabled (switch is on).

**Figura 23. TELA - Configurações gerais**

A tela de configurações gerais, apresentada na figura 23, aborda as principais customizações que podem ser feitas no sistema. Na parte superior, são exibidas as principais informações do usuário, permitindo a verificação de dados pessoais. O sistema possibilita ao usuário alterar o tema e o idioma aplicado. Na versão atual, as opções de idioma estão restritas a português (Brasil) e inglês (Americano). Na opção de 'mudar parâmetros', o usuário será redirecionado para uma nova tela.

Por fim na figura 24, a tela de parametrização geral permite ao usuário definir a localidade que deseja monitorar. Além disso, possibilita ajustar o período de monitoramento, em dias, tanto para antes quanto para depois da data atual, oferecendo assim maior flexibilidade ao usuário final.



**Figura 24. TELA - Parametrização geral**

## 12. VALIDAÇÃO

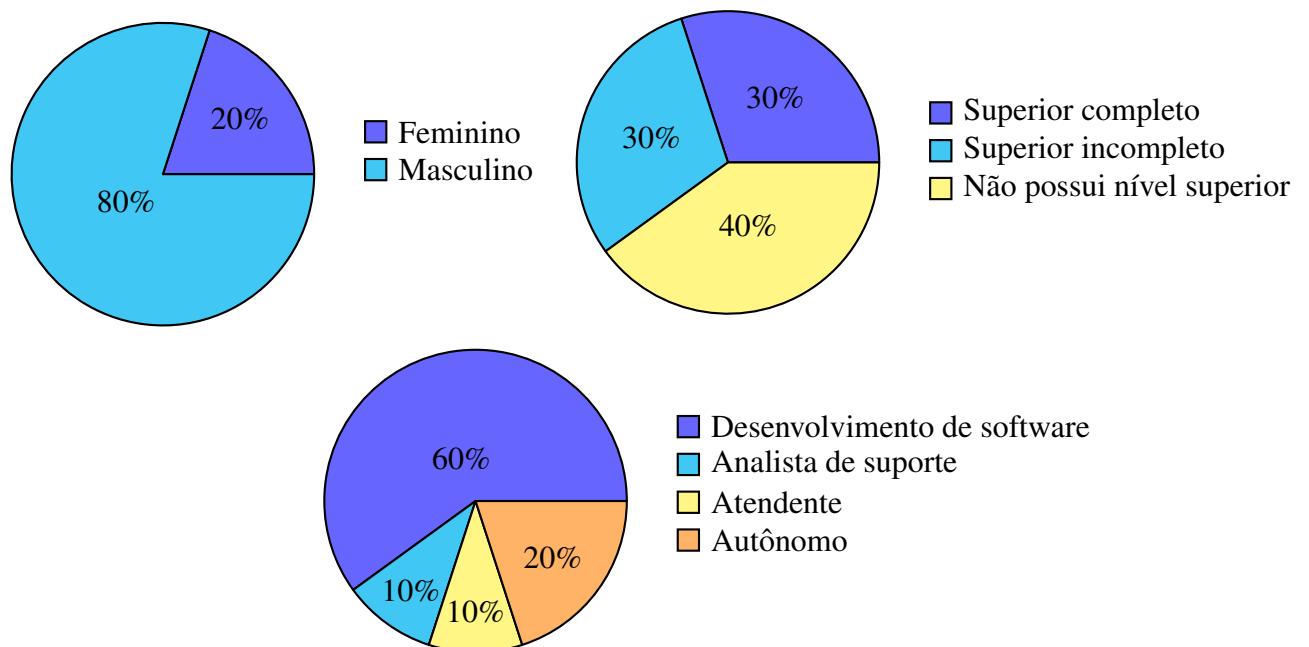
### 12.1. Questionário

Para avaliar a usabilidade e desempenho do sistema, aplicamos um questionário composto por duas perguntas objetivas e duas subjetivas, direcionado a um público específico de usuários da área de computação. Os testes foram realizados com foco em requisitos computacionais, tais como: (a) usabilidade, (b) interface amigável, (c) naveabilidade e (d) desempenho. Os usuários de teste foram selecionados com base em sua familiaridade e experiência prévia com desenvolvimento de software e sistemas similares, sendo constituídos majoritariamente por desenvolvedores amigos e familiares, garantindo um nível de confiança no feedback recebido e facilitando o acesso aos participantes. Essa escolha se deu pela conveniência de ter um público já habituado a lidar com sistemas tecnológicos, o que proporcionou uma avaliação mais precisa dos aspectos técnicos do Pandora.

Um total de 10 participantes responderam ao questionário. Futuramente estes testes devem ser ampliados para considerar um número maior de participantes, a fim de garantir uma amostra que seja estatisticamente relevante. A aplicação do questionário enfrentou algumas dificuldades, como a disponibilidade limitada dos participantes e a necessidade de garantir que todos compreendessem as perguntas de maneira uniforme, o que pode ter introduzido certos limites na validação dos resultados.

As respostas obtidas revelam informações importantes: a maioria dos respondentes concordou que o sistema é de fácil naveabilidade, destacando a interface intuitiva como um ponto forte. A facilidade de compreensão também foi bem avaliada, indicando que os usuários conseguem entender as funcionalidades sem maiores dificuldades. No entanto, surgiram sugestões para melhorias, especialmente a adição de mais recursos de personalização. Finalmente, em relação à relevância do sistema nos tempos atuais, os participantes enfatizaram sua importância, especialmente no contexto da crescente necessidade por soluções tecnológicas confiáveis e acessíveis.

No gráfico abaixo, é possível visualizar o perfil dos usuários que foram submetidos ao questionário, abordando aspectos de gênero, nível acadêmico e profissional:

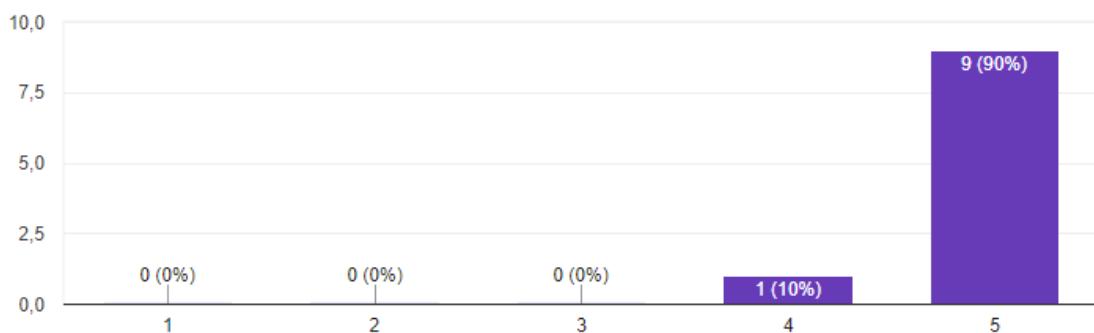


Para melhor entendimento das respostas objetivas, representadas na Figura 25 e 26, abaixo são apresentados os resultados obtidos:

O sistema é de fácil naveabilidade?  
(Numa escala de 1 a 5, onde 1 baixa naveabilidade e 5 alta naveabilidade)

 Copiar

10 respostas

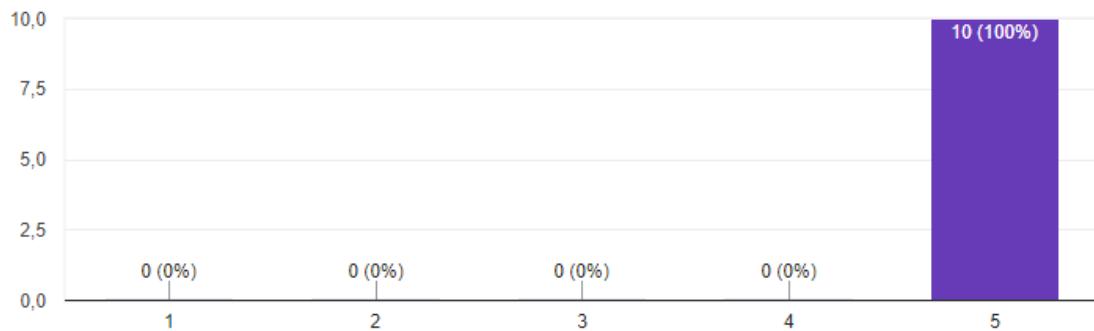


**Figura 25. Questionário - Pergunta 01**

O sistema é de fácil compreensão?  
(Numa escala de 1 a 5, onde 1 baixa compreensão e 5 alta compreensão)

 Copiar

10 respostas



**Figura 26. Questionário - Pergunta 02**

#### Na pergunta: **O que pode ser melhorado no sistema?**

As respostas obtidas para a pergunta sobre possíveis melhorias no sistema se concentraram em apresentar mais opções de configuração e notificações. Houve sugestões recorrentes para adicionar mais opções de filtragem no mapa e incluir ícones específicos conforme a situação ocorrida, como chuva ou alagamento. Os participantes também mencionaram a necessidade de um *feedback* mais claro após uma requisição, com mensagens mais legíveis. A inclusão de notificações sobre eventos climáticos extremos na localização atual dos usuários foi outra recomendação frequente. Além disso, foi sugerida a adição de uma legenda no mapa de previsão e a expansão do monitoramento para um nível global. Para um mínimo produto viável,

algumas respostas indicaram que melhorias poderiam ser implementadas futuramente, como adicionar mais detalhes e filtros nas notícias.

Na pergunta: **Qual relevância do sistema nos tempos atuais?**

As respostas destacaram a importância do sistema Pandora no contexto das mudanças climáticas e na previsão de eventos climáticos extremos. Os participantes enfatizaram que o sistema é essencial para responder rapidamente a situações críticas, como por exemplo, a recente catástrofe climática no Rio Grande do Sul. Eles também ressaltaram a utilidade do sistema para diversas áreas, como a economia, agricultura e planejamento semanal, enfatizando a sua relevância para acompanhar e mitigar riscos climáticos em todo o Brasil.

### **13. CONCLUSÃO**

Com base no projeto apresentado, fica evidente a importância crucial de sistemas avançados de previsão de eventos extremos, como o sistema Pandora, no contexto brasileiro. Em um cenário global de aumento da intensidade de fenômenos climáticos extremos, a capacidade de prever os impactos dessas ocorrências torna-se essencial para proteger vidas e reduzir danos materiais. O sistema Pandora, ao utilizar a vasta base de dados do EM-DAT e a API Open-Meteo, demonstra uma abordagem robusta e específica para o Brasil, abrangendo uma variedade de eventos climáticos relevantes para o país. Essa iniciativa não só reforça a necessidade de inovação tecnológica na área de meteorologia, mas também destaca a importância de políticas públicas eficazes e de um planejamento estratégico que possam aproveitar essas previsões para uma resposta rápida e eficiente.

Além disso, o sistema Pandora permite a análise de dados climáticos e históricos ao observar a convergência de determinadas variáveis em relação ao restante do conjunto de dados. Com base nessas informações, é possível aplicar cálculos de semelhança e correlação estatística para determinar se há uma compatibilidade entre as previsões meteorológicas e os dados relacionados a eventos como, por exemplo, inundações ribeirinhas. Ao identificar essas correlações, o sistema é capaz de calcular o percentual de similaridade entre os padrões climáticos previstos e os dados históricos de inundações, o que oferece uma ferramenta poderosa para a validação e aperfeiçoamento das previsões.

Essa abordagem traz diversos benefícios. A utilização de correlação estatística não apenas melhora a precisão das previsões, como também auxilia na identificação de padrões que poderiam passar despercebidos por análises tradicionais. A capacidade de correlacionar variáveis de forma quantitativa permite que o sistema ajuste suas previsões com base em dados históricos concretos, oferecendo previsões mais confiáveis e fundamentadas. Isso, por sua vez, eleva a eficácia das medidas preventivas, permitindo que gestores e autoridades planejem respostas mais eficazes para minimizar os impactos de desastres.

Portanto, a implementação e o contínuo desenvolvimento do sistema Pandora representam um passo significativo na direção de uma gestão de desastres mais proativa e informada, proporcionando um futuro mais seguro e resiliente para o Brasil. A combinação de inovações tecnológicas e o uso de correlações estatísticas para prever eventos extremos reforça a capacidade do país de se preparar melhor para os desafios climáticos que estão por vir.

## Referências

- Beck, K. (2003). *Test-Driven Development: By Example*. Addison-Wesley Professional.
- Climatempo (2024). Previsão do tempo para o rio de janeiro. <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo-para-rio-de-janeiro>. Acesso em: 27 maio 2024.
- Coumou, D. and Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2(7):491–496.
- CRED, p. o. t. U. o. L. U. (2024). Em-dat documentation.
- Diffenbaugh, N. S., Singh, D., Mankin, J. S., Horton, D. E., Swain, D. L., and Touma, D. (2018). Anthropogenic warming has increased the likelihood of california droughts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(9):201714516.
- Docker, Inc. (2024). Docker: Empowering app development for developers. <https://www.docker.com>. Docker é uma plataforma para desenvolvimento, envio e execução de aplicações em contêineres, permitindo que os desenvolvedores empacotem aplicações e suas dependências em um contêiner portátil.
- Fowler, M. (2018). *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. Addison-Wesley Professional, 2nd edition.
- Google (2024a). Firebase realtime database: Managed nosql database service. <https://firebase.google.com/products/realtime-database>. É um serviço de banco de dados NoSQL totalmente gerenciado oferecido pela plataforma Firebase do Google. Ele fornece uma estrutura flexível e escalável para armazenar, sincronizar e consultar dados para aplicativos da web, móveis e em tempo real.
- Google (2024b). Google cloud run: Managed container services. <https://cloud.google.com/run>. Serviço de computação em contêiner totalmente gerenciado oferecido pela Google Cloud Platform. Ele permite aos desenvolvedores implantar e executar facilmente aplicativos em contêineres sem se preocupar com a infraestrutura subjacente. O Cloud Run suporta contêineres do Docker e oferece integração perfeita com outras ferramentas e serviços do Google Cloud.
- Google (2024c). Google colaboratory: A platform for machine learning and data science. <https://colab.research.google.com>. Plataforma gratuita, que provê um ambiente integrado, baseada em nuvem desenvolvida pelo Google, que permite aos usuários escrever e executar código Python diretamente em seus navegadores da web.
- Hansen, J., Sato, M., and Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37):E2415–E2423.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kahn, M. E. and Mohaddes, K. (2016). Climate change adaptation: Lessons from urban economics. *Climate Change Economics*, 07(03):1650003.
- Meteored (2024). Previsão do tempo para são paulo. <https://www.meteored.com.br/previsao-do-tempo-para-sao-paulo>. Acesso em: 27 maio 2024.

- Montgomery, D. C. and Runger, G. C. (2021). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Wiley, Hoboken, NJ, 7th edition. O cálculo de correlação entre variáveis é uma técnica estatística fundamental que permite avaliar a relação linear entre duas ou mais variáveis.
- Zippenfenig, P. (2023). Open-meteo.com weather api.