



Iago Leal Ferreira de Almeida

## **Diagramas Interativos para Análise de Risco de Incêndio Florestal**

**Recife**

Março de 2026

Iago Leal Ferreira de Almeida

## **Diagramas Interativos para Análise de Risco de Incêndio Florestal**

Artigo apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Estatística e Informática  
Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação

**Orientadora: Silvana Bocanegra**

Recife  
Março de 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

A447d Almeida, Iago Leal Ferreira de.  
Diagramas interativos para análise de risco de  
incêndio florestal / Iago Leal Ferreira de Almeida. -  
Recife, 2026.  
19 f.; il.

Orientador(a): Silvana Bocanegra.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Bacharelado em Sistemas da Informação, Recife,  
BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Incêndios Florestais. 2. Diagramas de Risco. 3.  
Dados conectados. 4. Monitorização ambiental 5.  
Incêndios florestais - Previsão. I. Bocanegra,  
Silvana, orient. II. Título

CDD 004

# Diagramas Interativos para Análise de Risco de Incêndio Florestal

[Iago Leal Ferreira de Almeida]<sup>1</sup>, [Silvana Bocanegra]<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, - CEP: 52171-900 – Recife – PE – Brasil

[iago.leal@ufrpe.br]

**Resumo.** Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um protótipo de ferramenta para monitoramento de incêndios florestais. Com uma interface interativa é possível acompanhar a evolução do risco de fogo em diversas localidades, transformando dados meteorológicos complexos em uma ferramenta de suporte visual. Utilizando dados oficiais do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e uma arquitetura automatizada em nuvem com Streamlit, aplicou-se um modelo de Diagramas de Risco, que integra o Risco de Fogo Observado (RF) e a Tendência Temporal de Risco (TTR) para estimar a evolução do risco de uma determinada localidade ao longo do tempo. A validação da metodologia baseou-se em estudos de caso nos biomas Amazônia (Amapá) e Cerrado (Tocantins) durante os períodos críticos observados nos meses de maio e setembro de 2025. Os resultados demonstraram alta aderência entre as projeções do modelo e os registros oficiais de emergência, capturando com precisão tanto a degradação gradual quanto intensificação súbita das condições críticas. Conclui-se que o protótipo tem potencial para se transformar em uma ferramenta eficaz para a tomada de decisão estratégica, permitindo aos gestores antecipar cenários de risco e otimizar a alocação de recursos de combate.

**Abstract.** This work proposes the development of a prototype tool for monitoring forest fires. With an interactive interface, it is possible to track the evolution of fire risk in various locations, transforming complex meteorological data into a visual support tool. Using official data from INPE (Brazilian National Institute for Space Research) and an automated cloud architecture with Streamlit, a Risk Diagram model was applied, integrating Observed Fire Risk (RF) and Temporal Risk Trend (TTR) to estimate the evolution of risk in a given location over time. The methodology validation is based on case studies in the Amazon (Amapá) and Cerrado (Tocantins) biomes during critical periods observed in May and September 2025. The results obtained show a high degree of correlation between the model projections and official emergency records, accurately capturing both the gradual shift and the sudden intensification of critical conditions. It is concluded that the prototype has the potential to become an effective tool for strategic decision-making, allowing managers to anticipate risk scenarios and optimize the allocation of firefighting resources.

## 1. Introdução

Os incêndios florestais representam um dos principais desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados pelo Brasil. Estes eventos, que se manifestam com frequência

e intensidade crescentes, são classificados como desastres, comprometendo a integridade da biodiversidade, a qualidade atmosférica e, fundamentalmente, a saúde pública.

Embora o fogo possua um papel histórico no manejo de certos biomas e ocorra por causas naturais, o padrão observado nas últimas décadas aponta para uma escalada crítica. Um dado recente e alarmante do MapBiomas mostra que, em 2024, a área queimada no Brasil superou a média histórica em 62%, reforçando a concentração de ocorrências em vegetação nativa nos biomas Amazônia e Cerrado [MapBiomas 2025]. Apesar das ações governamentais e das medidas de prevenção que ocasionalmente resultam em declínios pontuais nos focos de calor [Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima 2025], o cenário de risco estrutural persiste, demandando a criação de ferramentas de monitoramento e previsão mais robustas e eficientes.

A intensificação da ocorrência de incêndios florestais está diretamente ligada às dinâmicas do aquecimento global. O aumento da temperatura média e as severas alterações nos regimes pluviométricos criam condições ambientais ideais para a ignição e propagação do fogo, transformando vastas regiões em áreas de alto risco de combustão. No contexto brasileiro, este desequilíbrio climático resulta em extensos períodos de estiagem e baixíssimos índices de umidade do ar, especialmente em regiões críticas como o Pantanal e o Centro-Oeste. Esta situação estabelece um ciclo de retroalimentação: o clima extremo eleva o risco de incêndios, e as queimadas subsequentes liberam grandes volumes de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), acelerando o aquecimento global e reforçando a emergência climática [IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima 2023].

Em contextos de alta incerteza e sistemas complexos, como a gestão de desastres ambientais, a capacidade de visualizar o risco de maneira clara e dinâmica é essencial para a tomada de decisão. Os Diagramas de Risco surgem como ferramentas eficazes, pois permitem a síntese da interdependência de múltiplos fatores em um único modelo [Moura 2025].

A validade e adaptabilidade desta metodologia, que integra a visualização geométrica com a análise estatística, foram comprovadas em situações de crise. Durante a pandemia de COVID-19, o Instituto para Redução de Risco e Desastres de Pernambuco (IRRD) utilizou os Diagramas de Risco estruturados com a velocidade de propagação empírica ( $\rho_7$ ) no eixo das ordenadas e a incidência acumulada ( $IA_{14}$ ) no eixo das abscissas. O produto dessas duas dimensões gera o Índice de Crescimento Potencial (EPG), métrica utilizada para monitorar a expansão da doença no estado de Pernambuco, no Brasil e no Mundo [Instituto para Redução de Riscos e Desastres de PE 2021]. Este histórico estabelece o uso de representações geométricas e estatísticas para mapear a evolução de um risco sistêmico como uma abordagem validada e de alto impacto na gestão de emergências.

Este trabalho visa dar continuidade e promover o aprimoramento do trabalho [Ramos 2025], que estabeleceu o modelo de Diagrama de Risco de Incêndios Florestais, adaptando a metodologia geométrica de análise de risco desenvolvida pelo Instituto para Redução de Risco e Desastres de Pernambuco (IRRD) em parceria com a Universidade Politécnica da Catalunha (UPC) como base conceitual [Instituto para Redução de Riscos e Desastres de PE 2021], [Català et al. 2021]. O foco principal deste projeto é transpor o modelo inicial para uma ferramenta de gestão ope-

racional, através de melhorias no sistema de visualização e captação de dados. Para isso será desenvolvido um protótipo de interface interativa destinada à avaliação e visualização dos riscos de incêndios florestais em municípios brasileiros, com a análise de validação concentrada especificamente nas localidades de Serra do Navio, Mazagão e Tartarugalzinho (Amapá) e Lagoa da Confusão, Pium e Mateiros (Tocantins). Serão utilizados os dados de Risco de Fogo Observado (RF) disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)<sup>1</sup>, por meio do Projeto Queimadas.

Para concretizar a criação de uma ferramenta prática que apoie a tomada de decisão na prevenção e previsão de incêndios florestais, a metodologia de implementação será estruturada em três eixos tecnológicos:

1. Automatização da Busca de Dados: Estabelecimento de um *pipeline* automatizado para a coleta e o processamento diário dos dados de risco de fogo do INPE, garantindo a atualização e a relevância informacional.
2. Geração dos Diagramas de Risco: Implementação da lógica estatística e visual para a geração dinâmica dos Diagramas de Risco de Incêndio Florestal, categorizando o risco das localidades.
3. Desenvolvimento da Interface Interativa: Utilização da biblioteca Streamlit para construir um protótipo de interface que seja acessível e de fácil usabilidade, capacitando gestores, pesquisadores e a sociedade a interagir com os dados, identificar tendências e obter suporte visual para a prevenção.

## 2. Trabalhos Relacionados

No contexto de ferramentas para visualização de dados ambientais, [Oliveira et al. 2024] desenvolveram um *dashboard* interativo voltado especificamente para o monitoramento de focos de calor no Brasil. Utilizando a linguagem Python e o *framework* Streamlit, a aplicação processa dados históricos e em tempo quase real do satélite AQUA, disponibilizados pelo INPE. O trabalho destaca-se pela integração de bibliotecas de análise e geoprocessamento, como Pandas, Plotly e Leafmap, para oferecer funcionalidades que vão desde o mapeamento de focos recentes (nos últimos 10 a 50 minutos) até a análise de séries temporais e climatologia de queimadas por bioma e estado. Os autores concluem que a utilização de soluções *open-source* e de rápida implementação, como o Streamlit, é eficaz para democratizar o acesso a dados complexos de sensoriamento remoto, servindo como uma ferramenta ágil de suporte à decisão para autoridades e pesquisadores.

Em uma análise sobre a evolução das tecnologias de combate ao fogo, [Schettino et al. 2022] discutem a transição necessária dos métodos tradicionais para soluções mais modernas. Os autores destacam que as torres de observação humana, embora historicamente importantes, apresentam limitações severas, como custos elevados, riscos à segurança dos vigias e fadiga visual. O estudo revisa diversas tecnologias de monitoramento remoto, incluindo imagens de satélite, redes de sensores sem fio e drones, e conclui que a automação e a integração desses sistemas multissensoriais são o caminho mais eficaz para garantir a detecção precoce, reduzindo o tempo de resposta e os danos ambientais.

---

<sup>1</sup>Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>. Acesso em: 17 dez. 2025.

No contexto local de Pernambuco, [Alves and Nóbrega 2011] aplicaram técnicas de geoprocessamento para mapear o risco de incêndio florestal no Parque Nacional do Catimbau. O estudo demonstrou como a integração de dados climáticos simples, como precipitação e umidade, quando processados através da Fórmula de Monte Alegre (FMA) em um ambiente SIG, pode revelar padrões espaciais críticos que não são óbvios à primeira vista. Os autores conseguiram identificar, por exemplo, que a porção oeste do parque apresentava uma vulnerabilidade muito maior do que a leste, provando que ferramentas de análise espacial são vitais para que os gestores possam direcionar recursos de prevenção de forma cirúrgica para onde o perigo é realmente iminente.

[Granemann and Carneiro 2009] ressaltam o papel indispensável do sensoriamento remoto como ferramenta estratégica para órgãos governamentais, como a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros. O estudo demonstra como a integração de imagens de satélites meteorológicos (como NOAA e GOES) com os dados disponibilizados pelo INPE permite a detecção de focos de calor em tempo quase real, transformando a resposta aos incêndios de uma ação reativa para uma gestão preventiva. Ao analisar casos práticos no Paraná e no Acre, os autores concluem que o uso dessas tecnologias para antecipação de riscos é a chave para minimizar perdas ambientais e patrimoniais, evidenciando que a eficácia do combate ao fogo começa com a precisão e a agilidade da informação recebida.

No cenário internacional recente, [Huang et al. 2025] propuseram na Scientific Reports uma abordagem integrada (físico-bayesiana) para avaliar a suscetibilidade de incêndios florestais próximos a linhas de transmissão de energia. O estudo, aplicado na China, identificou que variáveis como a precipitação mensal, tipo de vegetação e a proximidade com áreas residenciais são fatores determinantes para a probabilidade de ignição. Embora o foco dos autores seja a proteção de infraestrutura crítica, o trabalho corrobora a premissa adotada nesta pesquisa de que a integração de dados meteorológicos e antropogênicos é essencial para a modelagem precisa do risco. Diferente da abordagem probabilística complexa de [Huang et al. 2025], este trabalho busca simplificar a tomada de decisão através da visualização geométrica interativa.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Fonte de Dados

Os dados primários utilizados neste estudo foram obtidos a partir do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)<sup>2</sup>, referência nacional no monitoramento de focos de calor e risco de incêndios. A aquisição dos dados foi realizada por meio de acesso direto ao servidor oficial (*dataserver*), estratégia que assegura a integridade e a atualização diária das informações sem a necessidade de intervenção manual. A variável selecionada para análise foi o Risco de Fogo Diário (Observado). Estes dados foram extraídos do diretório oficial de meteorologia do INPE, onde são disponibilizados em arquivos no formato NetCDF (.nc).

A escolha por este formato de arquivo foi estratégica para o desenvolvimento da solução tecnológica proposta, visto que o NetCDF é um padrão de dados multidimensionais amplamente utilizado em ciências atmosféricas, permitindo a leitura programática

---

<sup>2</sup>Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>. Acesso em: 17 dez. 2025.

e estruturada de matrizes georreferenciadas (latitude, longitude e tempo). Esta abordagem de coleta automatizada via requisição ao servidor permitiu superar as limitações de escalabilidade e a dependência de processos manuais apontadas em trabalhos anteriores, como em [Ramos 2025], possibilitando o processamento contínuo de séries temporais para qualquer município coberto pelo monitoramento do INPE.

### 3.2. Modelo Matemático de Risco

O modelo de análise de risco adotado neste trabalho fundamenta-se na metodologia de visualização geométrica, integrando duas componentes principais para avaliar a criticidade de uma região: o Risco de Fogo Observado (RF) e a Tendência Temporal de Risco (TTR).

#### 3.2.1. Risco de Fogo Observado (RF)

O primeiro componente refere-se ao Risco de Fogo (RF), que adota a metodologia estabelecida pelo INPE. Este índice é processado diariamente integrando variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura máxima e umidade relativa) e dados ambientais estáticos (tipo de vegetação, elevação e latitude). O modelo quantifica a suscetibilidade da vegetação à combustão, gerando um índice adimensional que varia de 0 (risco mínimo) a 1 (risco crítico), conforme detalhado no relatório técnico [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 2019]. O algoritmo pode ser sintetizado em três equações fundamentais.

Primeiramente, determina-se os fatores de precipitação ( $fp$ ), são 11 coeficientes (variando de 0 a 1) calculados individualmente, considerando a precipitação ( $P_i$ ) para diferentes janelas de tempo passadas. Cada fator representa o impacto redutor da chuva naquele período específico:

$$\begin{aligned}
 fp_1 &= e^{-0.14 \times P_1} \\
 fp_2 &= e^{-0.07 \times (P_2 - P_1)} \\
 fp_3 &= e^{-0.04 \times (P_3 - P_2)} \\
 fp_4 &= e^{-0.03 \times (P_4 - P_3)} \\
 fp_5 &= e^{-0.02 \times (P_5 - P_4)} \\
 fp_{6-10} &= e^{-0.01 \times (P_{10} - P_5)} \\
 fp_{11-15} &= e^{-0.008 \times (P_{15} - P_{10})} \\
 fp_{16-30} &= e^{-0.004 \times (P_{30} - P_{15})} \\
 fp_{31-60} &= e^{-0.002 \times (P_{60} - P_{30})} \\
 fp_{61-90} &= e^{-0.001 \times (P_{90} - P_{60})} \\
 fp_{91-120} &= e^{-0.0007 \times (P_{120} - P_{90})}
 \end{aligned}$$

Posteriormente, determina-se o Potencial de Secura (PSE), que estima os dias acumulados sem chuva através do produto de fatores de decaimento exponencial ( $fp_i$ )

aplicados à precipitação nos últimos 120 dias, escalonados por uma constante base de 105 dias:

$$PSE = 105 \times fp_1 \times fp_2 \times \dots \times fp_{91a120}$$

Em seguida, calcula-se o Risco de Fogo Básico ( $Rb$ ), que integra o PSE à suscetibilidade do tipo de vegetação (constante  $A$ ), utilizando uma função senoidal para modelar a saturação do risco:

$$Rb = \frac{0.8 \times \{1 + \sin[((A \times PSE) - 90) \times (\frac{\pi}{180})]\}}{2}$$

Por fim, o Risco de Fogo Observado ( $RF$ ) é obtido aplicando-se ao Risco Básico os fatores de correção ambientais: Umidade Relativa Mínima Diária ( $UR$ ), Fator de Umidade Relativa do Ar ( $FU$ ), Temperatura Máxima Diária ( $T_{max}$ ), Fator de Temperatura do Ar ( $FT$ ), Latitude ( $FLAT$ ) e Elevação ( $FELV$ ). A formulação final é expressa por:

$$RF = Rb \times \underbrace{[(UR \cdot -0.006) + 1.3]}_{FU} \times \underbrace{[(T_{max} \cdot 0.02) + 0.4]}_{FT} \times FLAT \times FELV$$

### 3.2.2. Tendência Temporal de Risco (TTR)

O segundo componente é a Tendência Temporal de Risco (TTR), introduzida e definida no trabalho de [\[Ramos 2025\]](#). O TTR funciona como um indicador de aceleração do risco, calculado a partir da variação do RF nos dias anteriores. O índice utiliza médias móveis e regras de persistência para identificar se o risco está em uma trajetória de crescimento, estabilização ou declínio. Para realizar o cálculo do TTR, são necessários os seguintes passos: Primeiramente, calcula-se a Média Móvel de 7 dias ( $MM7$ ) do risco de fogo observado no instante  $t$ , com o objetivo de estabelecer um patamar base que suaviza oscilações diárias:

$$MM7_t = \frac{1}{7} \sum_{i=0}^6 RF_{t-i}$$

Posteriormente, determinam-se a Variação do Risco ( $\Delta RF$ ) e a função de ativação de Heaviside ( $H$ ):

$$\Delta RF_t = RF_t - RF_{t-1};$$

$$H(\Delta RF_t).$$

A variação mede a velocidade instantânea de mudança (por exemplo, se ontem o risco era 0,5 e hoje é 0,6, o delta é +0,1). A Função de Heaviside ( $H$ ) atua como um "interruptor lógico": se o risco aumentou ( $\Delta RF > 0$ ), a função retorna 1 (ativada); se o risco caiu ou permaneceu estável, retorna 0 (desativada). Essa lógica assegura que apenas variações positivas do risco impactem o crescimento do índice. Para compor a aceleração, utilizam-se os coeficientes  $\alpha$  e  $\delta_{min}$ . O coeficiente  $\alpha$ , calibrado em 0,3, regula a intensidade da resposta a essas variações, ampliando proporcionalmente os aumentos detectados. Já o incremento mínimo garantido,  $\delta_{min} = 0,01$ , assegura um piso de crescimento para o índice sempre que houver elevação no risco de fogo, mesmo que discreta, prevenindo a estagnação do TTR em contextos de risco ascendente. Por fim, a equação final do TTR

integra esses componentes, selecionando o maior valor entre a base suavizada e a projeção de aceleração acumulada (memória do sistema):

$$TTR_t = \max(MM7_t, TTR_{t-1} + H(\Delta RF_t) \cdot [\alpha \cdot \Delta RF_t + \delta_{min}])$$

### 3.2.3. Índice de Risco de Incêndio (RI)

O Índice de Risco de Incêndio (RI) consolida a análise ao integrar a magnitude atual do risco ( $RF$ ) e sua dinâmica temporal ( $TTR$ ) em uma única métrica, expressa pelo produto  $RI = TTR \times RF$ . Essa relação fundamenta a construção dos Diagramas de Risco Interativos, onde as duas variáveis compõem um plano cartesiano ( $RF$  no eixo X e  $TTR$  no eixo Y). Nesse espaço geométrico, o produto das coordenadas determina o Índice de Risco (RI), definindo zonas de gravidade categorizadas em quatro níveis operacionais. As zonas funcionam como um mapa de calor:

- Verde (Baixo,  $RI < 0.25$ ): Situação segura;
- Amarelo (Moderado,  $0.25 \leq RI < 0.50$ ): Estado de atenção;
- Laranja (Alto,  $0.50 \leq RI < 0.75$ ): Estado de alerta;
- Vermelho (Crítico,  $RI \geq 0.75$ ): Perigo iminente de propagação descontrolada.

## Diagramas de Risco de Incêndio Florestal

**Informação:** Este aplicativo gera diagramas de risco de incêndio florestal dos últimos 30 dias.

Selecione o estado:

Tocantins

Selecione a(s) cidade(s):

Lagoa da Confusão

### Diagrama de Risco de Incêndio Florestal para Lagoa da confusão(estudo de caso-maio 2025)

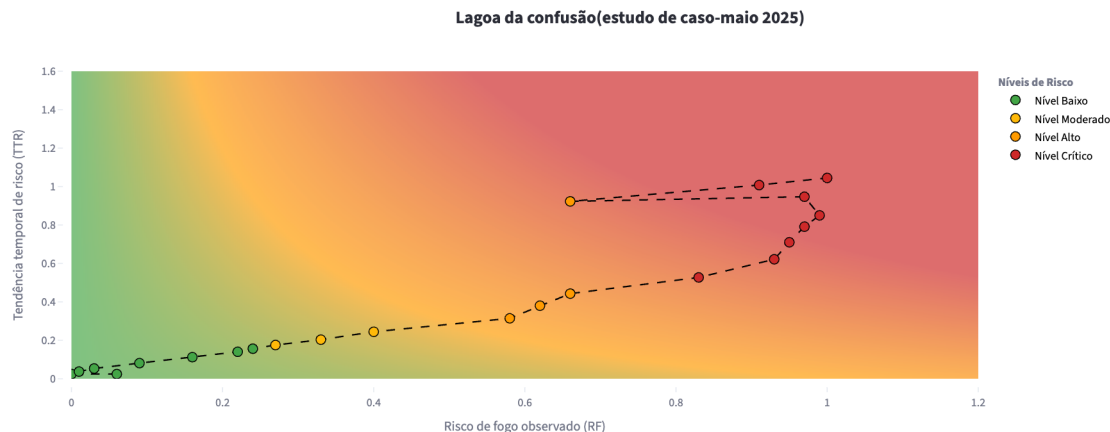


Figura 1. Interface de Diagramas de Risco de Incêndio Florestal. Fonte: Autor

Para a correta leitura dos diagramas, deve-se observar na Figura 1 a trajetória da linha tracejada: o avanço em direção ao canto superior direito sinaliza rápida deterioração (aumento e aceleração do risco), enquanto o recuo para a esquerda ou para baixo indica alívio nas condições ambientais.

### 3.3. Arquitetura, Automatização dos Dados e Interface de Visualização

Para operacionalizar a metodologia de análise de risco proposta e superar as limitações de coleta manual observadas em [Ramos 2025], foi desenvolvida uma arquitetura de software baseada em computação em nuvem e rotinas de integração contínua (CI/CD). A solução integra a extração de dados brutos do INPE, o armazenamento escalável no Google Cloud Platform (GCP) e a visualização dinâmica via Streamlit. O fluxo da informação segue o esquema ilustrado na Figura 2, conectando a automação do *backend* à interatividade do *frontend*.

O processo de automação é orquestrado via GitHub Actions configurado através de um workflow CRON. Esta rotina é executada diariamente às 03:40 (horário de Brasília), estrategicamente agendada para ocorrer dez minutos após a atualização oficial dos dados pelo INPE (03:30). O pipeline inicia-se com o script `baixar-inpe.py`, que realiza requisições HTTPS ao servidor de dados do instituto para obter os arquivos meteorológicos no formato NetCDF (.nc). Para otimizar o tempo de transferência, implementou-se o processamento paralelo utilizando a biblioteca `concurrent.futures.ThreadPoolExecutor`, permitindo o download simultâneo da série histórica dos últimos 37 dias, necessária para a construção das médias móveis.

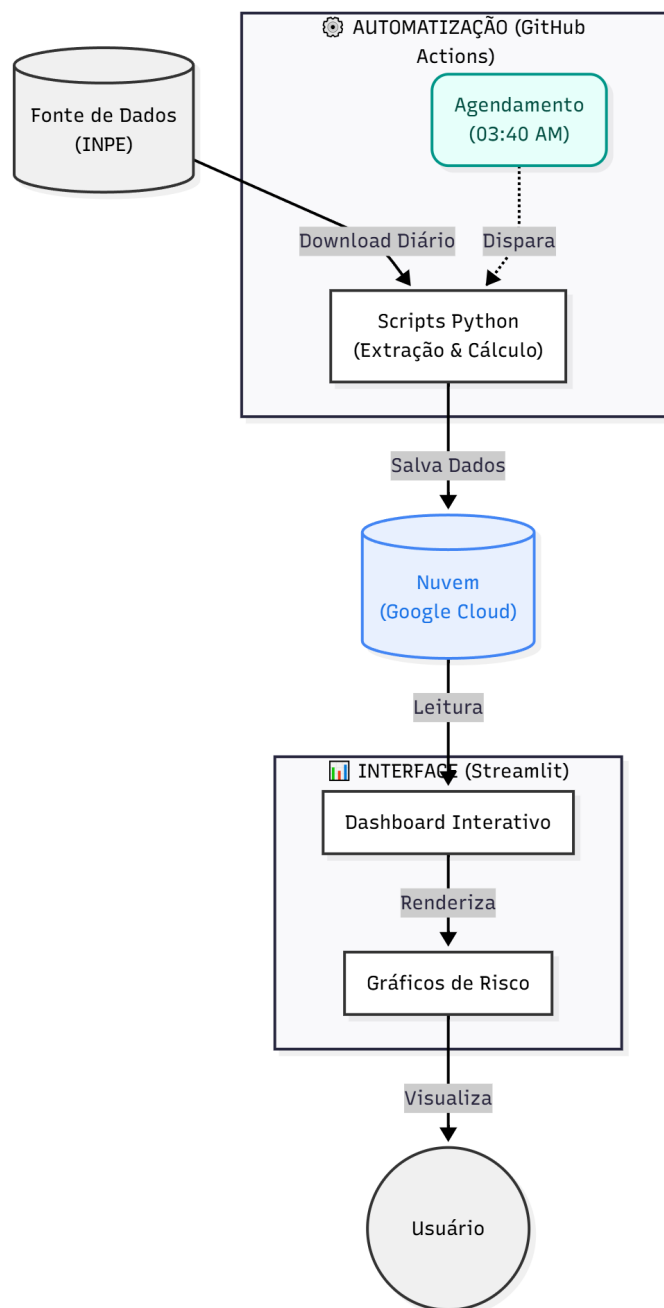
Imediatamente após a coleta, é executado o script de processamento `processar_cidades.py`. Utilizando a biblioteca `xarray` para manipulação de dados multidimensionais, o algoritmo extrai os valores de Risco de Fogo (RF) especificamente para as coordenadas geográficas dos municípios monitorados, definidas em variáveis de ambiente. Os dados processados são convertidos para o formato estruturado (.xlsx) e enviados automaticamente para um bucket no Google Cloud Storage. Essa arquitetura desacopla a coleta pesada da visualização, garantindo que os dados estejam pré-processados e disponíveis em nuvem, eliminando a dependência de processamento local na máquina do usuário. Os códigos gerados encontram-se armazenados e disponíveis no GitHub<sup>3</sup>.

A interface final, ilustrada na Figura 1, foi desenvolvida em Streamlit e atua simultaneamente como camada de apresentação e motor de cálculo analítico. Ela pode ser acessada em <https://interfaceriscoincendioflorestal.streamlit.app/>. Ao selecionar um município, a aplicação conecta-se ao serviço de armazenamento do Google, recupera a série histórica atualizada e executa em tempo real o cálculo da Tendência Temporal de Risco (TTR). O algoritmo interno aplica regras de persistência e médias móveis sobre os dados brutos recuperados para determinar a aceleração do risco. A visualização dos resultados é feita através da biblioteca Plotly, que gera diagramas interativos combinando mapas de calor (heatmaps) e curvas de tendência. Diferente de gráficos estáticos, essa implementação permite que o gestor interaja com o diagrama, visualizando valores exatos de risco e data ao passar o cursor sobre os pontos, facilitando a

---

<sup>3</sup>Disponível em:

[https://github.com/Iagolealfa/interface\\_risco\\_incendio\\_florestal](https://github.com/Iagolealfa/interface_risco_incendio_florestal);  
[https://github.com/Iagolealfa/schedule\\_inpe\\_data](https://github.com/Iagolealfa/schedule_inpe_data)



**Figura 2. Arquitetura da solução proposta e fluxo de dados automatizado.**  
**Fonte: Autor**

tomada de decisão baseada em dados precisos.

#### 4. Resultados (Estudo de Caso)

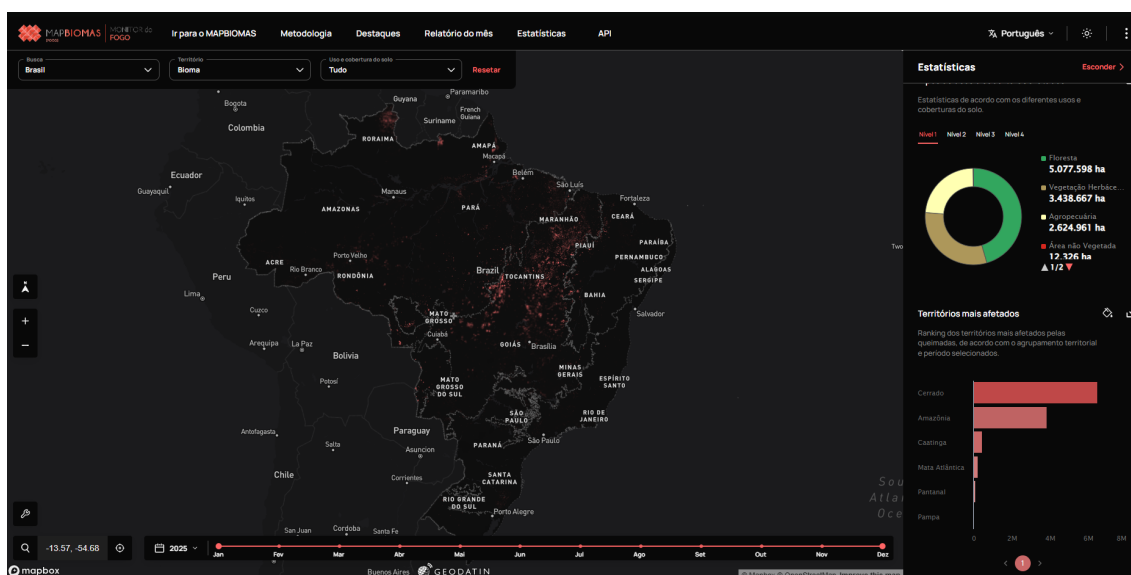
Esta seção apresenta os resultados obtidos através da aplicação da ferramenta desenvolvida. O objetivo central é demonstrar a eficácia dos diagramas de risco interativos no monitoramento de incêndios florestais, validando os dados gerados pelo modelo em comparação com ocorrências reais reportadas por órgãos oficiais e pela imprensa.

Para fundamentar a seleção das áreas de estudo, observou-se o cenário nacional

de incêndios referente ao ano de 2025, utilizando dados da plataforma MapBiomas Fogo. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das áreas queimadas no território brasileiro, evidenciando a concentração de eventos críticos nas regiões Centro-Oeste e Norte. A análise estatística revela que o Cerrado foi o bioma com a maior extensão de área queimada no período, seguido imediatamente pela Amazônia, destacando-se significativamente em relação aos demais biomas. Diante desse panorama crítico, a análise divide-se em duas partes estratégicas que contemplam os ecossistemas mais vulneráveis:

1. Um estudo de caso na região Norte (**Amapá**), representando o bioma Amazônia;
2. Um estudo de caso na região do Cerrado (**Tocantins**), bioma que liderou as estatísticas de queimadas no ano.

Essa abordagem permite testar a ferramenta nas fronteiras ambientais que apresentaram os maiores desafios de monitoramento em 2025.



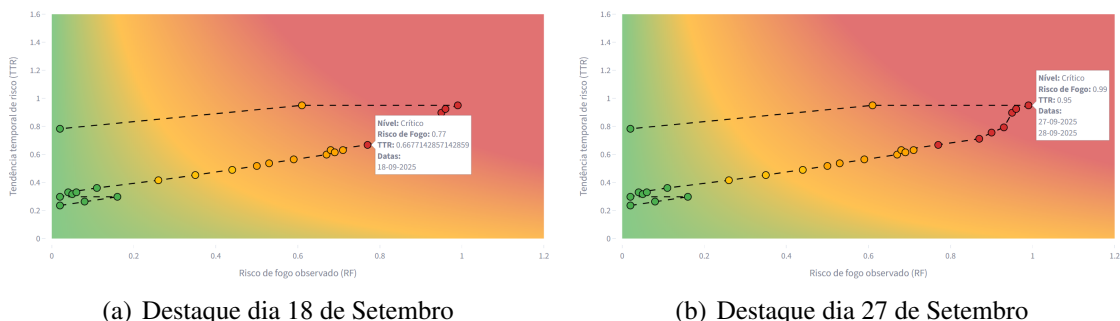
**Figura 3. Distribuição de áreas queimadas no Brasil por bioma (2025). Fonte: <https://plataforma.monitorfogo.mapbiomas.org>**

#### 4.1. Estudo de Caso 1: Crise de Incêndios no Amapá (Setembro/2025)

Para validar a ferramenta no bioma Amazônia foram selecionados três municípios do Amapá: Mazagão, Tartarugalzinho e Serra do Navio. Os digramas de risco foram gerados para capturar a evolução do risco no mês de setembro de 2025, considerado o mais crítico na região. Os dados obtidos com os diagramas interativos refletem a crise de incêndios reportada oficialmente. A análise comparativa entre os municípios revela como a ferramenta capturou diferentes estágios da emergência.

No caso de Mazagão (Figura 4), observa-se uma rápida escalada do perigo. O diagrama indica que, a partir do dia 11 de setembro, o município iniciou uma trajetória ascendente, culminando no dia 28 de setembro na zona vermelha (Crítica), com o Risco de Fogo (RF) próximo a 1.0 e alta Tendência Temporal (TTR). Esse diagnóstico visual converge com os relatos da imprensa: segundo o [GI 2025] (Figura 5), Mazagão foi

um dos focos de atuação conjunta entre o Prevfogo e o Corpo de Bombeiros, exigindo inclusive a capacitação de agentes locais da Defesa Civil na região metropolitana.



**Figura 4. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal em Mazagão (AP) - Setembro 2025. Fonte: Autor**

**Incêndios florestais aumentam 161% no Amapá em uma semana, diz Ibama**

Registros são do período de 15 a 21 de setembro para semana de 22 a 28 de setembro. Segundo o órgão, o estado está em alerta amarelo.

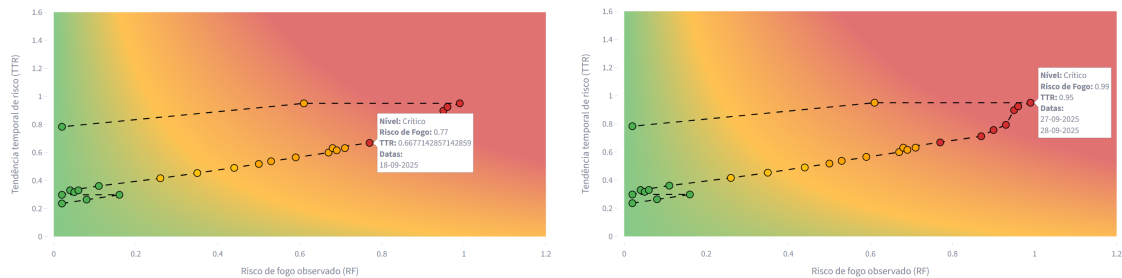
Por **Mariana Ferreira**, g1 AP — Macapá  
01/10/2025 14h41 · Atualizado há 3 meses

**Resumo**

- O número de incêndios florestais no Amapá cresceu 161% em uma semana, segundo o Ibama.
- O aumento foi registrado entre os dias 15 e 28 de setembro e está ligado à estiagem. O Estado está em alerta amarelo.
- Mesmo com o crescimento recente, o Amapá teve uma redução de 52% nos focos de incêndio em 2025, comparado a 2024.

**Figura 5. Incêndios florestais aumentam 161% no Amapá em uma semana, diz Ibama. Fonte: G1 Globo**

A situação mais grave, contudo, foi identificada em Tartarugalzinho (Figura 6). O diagrama mostra que o município permaneceu estacionado na zona de “Risco Crítico” (Vermelha) por um longo período, especificamente entre 09 e 30 de setembro. A ferramenta apontou valores extremos de aceleração do risco, o que é corroborado pela reportagem, que cita textualmente: “Tartarugalzinho é o município mais afetado” pela força-tarefa da Operação Amapá Verde [G1 2025].

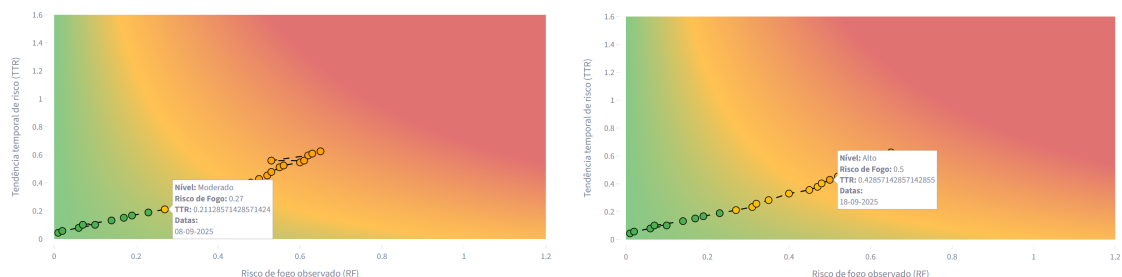


(a) Destaque em 18 de Setembro de 2025

(b) Destaque em 27 de Setembro de 2025

**Figura 6. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal Tartarugalzinho (AP). Setembro 2025. Fonte: Autor**

Por fim, o diagrama de Serra do Navio (Figura 7) apresentou um comportamento distinto, marcado por uma deterioração gradual e consistente. A análise temporal aponta que, a partir do dia 08/09, o município já operava em nível de risco Moderado, evoluindo para a zona de nível “Alto” (Laranja) a partir de 18/09. Nesse período crítico final, o Risco de Fogo (RF) escalou progressivamente de 0,50 até atingir 0,65 no dia 30/09, evidenciando o acúmulo de condições favoráveis à propagação de chamas.



(a) Destaque em 08 de Setembro de 2025

(b) Destaque em 18 de Setembro de 2025

**Figura 7. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal Serra do Navio (AP). Setembro 2025. Fonte: Autor**

Essa leitura reflete com precisão o cenário descrito pelas autoridades: embora não tenha atingido os níveis catastróficos de Tartarugalzinho, o município “entrou no radar dos alertas” justamente nesta última semana de setembro devido à baixa umidade. A detecção dessa tendência de alta justificou a decisão estratégica de inaugurar uma nova base operacional do Prevfogo na localidade para atuar na prevenção antes que o quadro se tornasse crítico [G1 2025].

De modo geral, os três diagramas validam o aumento de 161% nos incêndios florestais registrado pelo IBAMA entre 15 e 28 de setembro. A capacidade do modelo em distinguir entre o colapso iminente (Tartarugalzinho) e o alerta de agravamento (Serra do Navio) demonstra sua utilidade estratégica para o direcionamento de recursos, coincidindo com a expansão das bases da Operação Amapá Verde de 8 para 13 unidades no mesmo período crítico.

## 4.2. Estudo de Caso 2: Aceleração do Risco no Tocantins (Maio/2025)

A validação da ferramenta no bioma Cerrado concentrou-se na análise da série histórica de maio de 2025, abrangendo os municípios de Mateiros, Lagoa da Confusão e Pium. Assim como observado na região Norte, os diagramas gerados apresentaram forte aderência com a realidade climática extrema reportada no período.



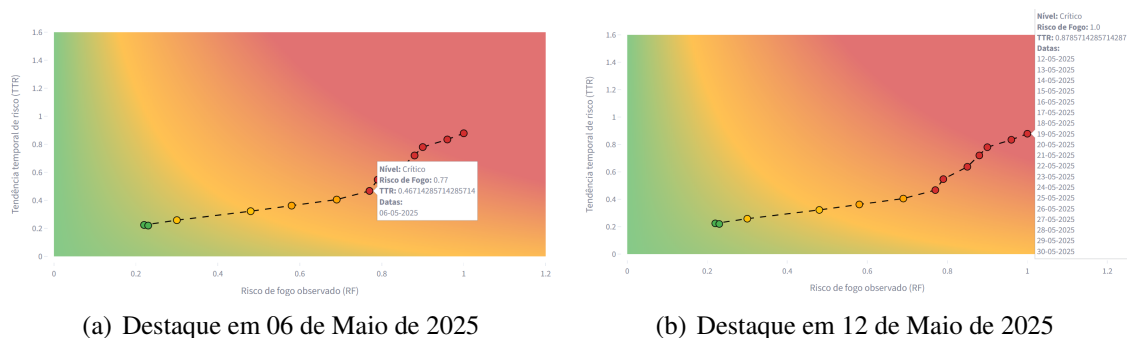
**Figura 8. Tocantins registra mais de mil focos de queimadas em maio. Fonte: Agência Brasil**

A análise geral do mês revela uma convergência direta entre os alertas visuais da ferramenta e os registros oficiais. Conforme reportado pela Agência Brasil [Agência Brasil 2025], o Tocantins enfrentou um cenário alarmante com mais de mil focos de queimadas apenas em maio. Esse contexto de emergência, ilustrado na manchete da Figura 8, motivou a autorização federal para a contratação de brigadas de combate em 17 estados, incluindo o Tocantins, em resposta à antecipação crítica da temporada de fogo.

No município de Mateiros (Figura 9), o diagrama capturou uma degradação atmosférica abrupta, caracterizada pela intensificação súbita e severa das condições de estiagem. A trajetória do risco evidencia uma escalada veloz:

1. Entre 30/04 e 01/05, o município encontrava-se em zona segura (Verde);

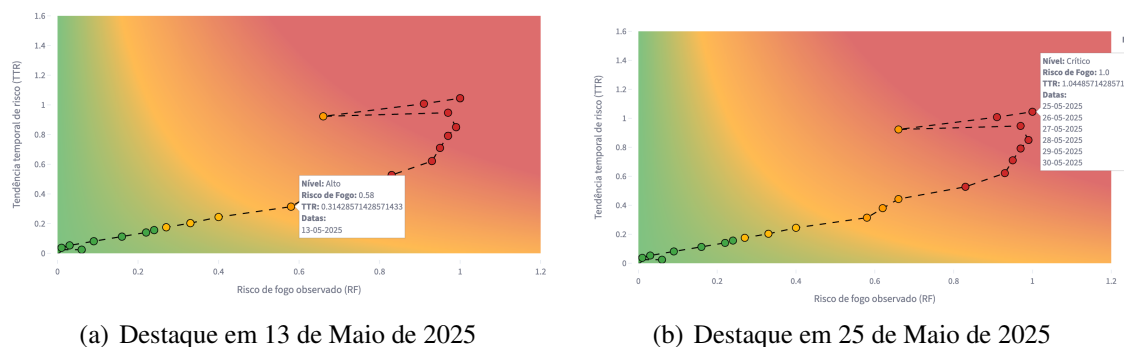
2. Em apenas 48 horas (02/05 a 03/05), houve uma transição agressiva para o Risco Moderado;
3. A partir de 06/05, o sistema entrou em zona de Risco Crítico, onde permaneceu estagnado até o final do mês (30/05).



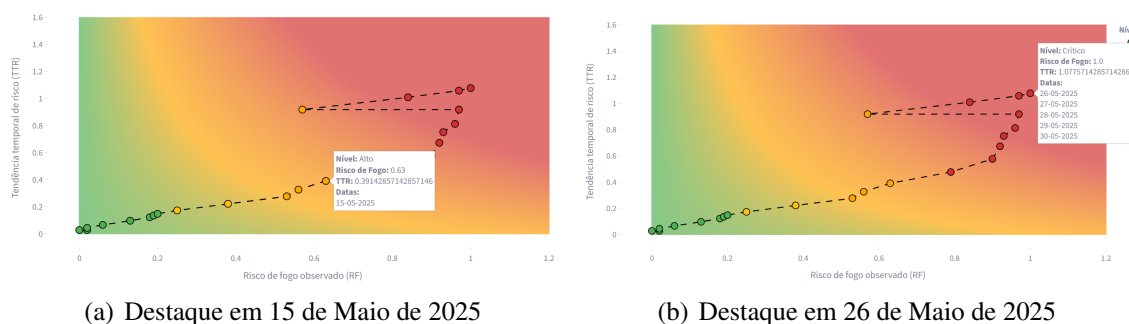
**Figura 9. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal Mateiros(TO). Maio 2025. Fonte: Autor**

A ferramenta demonstrou que, em apenas seis dias, a região de Mateiros saiu de uma situação segura para um cenário crítico. Isso evidencia a utilidade do TTR elevado (eixo Y) como um alerta antecipado para o gestor sobre a aceleração da degradação ambiental — algo que uma análise puramente estática poderia demorar a identificar. Essa permanência duradoura na zona crítica, visualizada pelo acúmulo de pontos no quadrante vermelho superior, explica diretamente por que o município se tornou o segundo com mais focos de queimadas (89 registros) no estado durante o período analisado.

Já os municípios de Lagoa da Confusão e Pium (Figuras 10 e 11) apresentaram comportamento similar, refletindo a homogeneidade climática da região da Ilha do Bananal. Diferente de Mateiros, a degradação inicial foi gradual, mas severa. O diagrama de Lagoa da Confusão é particularmente revelador: a consolidação do risco no nível “Crítico” entre 16/05 e 30/05 justifica o fato deste município ter liderado o ranking estadual, contabilizando 95 focos de calor no período.



**Figura 10. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal Lagoa da Confusão(TO). Maio 2025. Fonte: Autor**



**Figura 11. Diagramas de Risco de Incêndio Florestal Pium(TO). Maio 2025. Fonte: Autor**

A ferramenta também demonstrou sensibilidade a variações microclimáticas. Nota-se, por exemplo, um evento isolado no dia 23/05 em ambos os municípios, onde houve um breve recuo para o nível “Alto“ (provavelmente devido a uma precipitação leve ou queda de temperatura pontual), retornando imediatamente à criticidade nos dias subsequentes. Essa precisão no monitoramento reforça a utilidade dos Diagramas de Risco para a gestão de recursos, validando a necessidade da presença das brigadas federais e do intercâmbio técnico realizado pelo Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins) na região.

#### 4.3. Análise Comparativa: Modelo Observacional do INPE vs. Modelo Dinâmico de Diagramas de Risco

Para evidenciar a contribuição operacional da ferramenta proposta, é necessário comparar o comportamento do índice base do INPE, o Risco de Fogo Observado (RF), com o Índice de Risco (RI) gerado pelos Diagramas Interativos, dado pela relação  $RI = RF \times TTR$ . O modelo do INPE atua como uma métrica de estado geofísico estático, classificando o risco em cinco faixas fixas: mínimo ( $< 0,15$ ), baixo (0,15 a 0,40), médio (0,40 a 0,70), alto (0,70 a 0,95) e crítico ( $> 0,95$ ). Em contrapartida, o Índice de Risco (RI) atua como uma métrica de tendência, incorporando a “memória” e a aceleração climática através da Tendência Temporal de Risco (TTR), com o nível crítico estabelecido para valores a partir de 0,75.

Essa diferença metodológica torna-se crucial na observação de rápidas escaladas de perigo, como o cenário registrado no município de Mazagão (AP) durante o mês de setembro de 2025. Ao analisar a evolução diária puramente pelo RF a partir do dia 11 de setembro, o município apresentava uma elevação progressiva, mantendo-se temporariamente em faixas de risco “Médio”(entre 0,40 e 0,70) ou “Alto” durante os dias de transição. Por depender estritamente dos dados meteorológicos diários absolutos, o RF isolado apenas classificaria a região no limiar de “Risco Crítico”(RF  $> 0,95$ ) de forma tardia, próximo ao dia 28 de setembro, quando a seca severa já estava plenamente consolidada no ambiente.

No entanto, o modelo dinâmico (RI) antecipou o cenário de crise. Devido à forte trajetória ascendente do risco ao longo da segunda quinzena de setembro, o multiplicador do TTR capturou essa aceleração contínua. O efeito prático dessa aceleração foi impulsionar o Índice de Risco (RI) para a zona “Crítica/Vermelha”(RI  $\geq 0,75$ ) dias antes do índice do INPE atingir o seu patamar máximo ( $> 0,95$ ).

Conclui-se que o modelo  $RI = RF \times TTR$  supre uma lacuna operacional do RF tradicional: a capacidade de alerta antecipado. Enquanto o modelo clássico do INPE subestima o perigo durante a fase de aceleração da seca (classificando-o muitas vezes apenas como "Baixo", "Médio" ou "Alto"), a ferramenta desenvolvida fornece um tempo de resposta valioso para a gestão pública. Isso permite, por exemplo, o acionamento preventivo de equipes de contenção, como as do Prevfogo e da Defesa Civil atuantes na região de Mazagão, antes que o cenário atinja a criticidade irreversível.

## 5. Discussões e Trabalhos futuros

A aplicação da ferramenta em dois biomas distintos (Amazônia no Amapá e Cerrado no Tocantins) e em períodos diferentes (Maio e Setembro) demonstrou robustez. Em ambos os casos, os diagramas não apenas classificaram corretamente o risco (Crítico), mas também permitiram visualizar a dinâmica temporal: a explosão rápida do risco em Mateiros versus a degradação gradual em Lagoa da Confusão. Fundamentalmente, a análise comparativa evidenciou o ganho operacional do modelo dinâmico proposto ( $RI$ ) em relação ao índice observacional tradicional do INPE ( $RF$ ). Ao incorporar a Tendência Temporal de Risco (TTR), a ferramenta provou ser capaz de antecipar o alerta de cenários críticos em dias, superando a limitação estática dos dados diários. Essa capacidade preditiva e a geração de um tempo de resposta valioso são vitais para que as autoridades possam transformar uma gestão reativa em proativa, planejando a logística de combate com precisão e priorizando áreas de intervenção imediata.

Como trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do modelo matemático do TTR, calibrando coeficientes e integrando variáveis físicas, como vento e topografia, para aumentar a precisão dos diagramas. Quanto à evolução da interface e da infraestrutura, recomenda-se o desenvolvimento de filtros temporais dinâmicos, permitindo ao usuário alternar entre a visualização padrão dos últimos 30 dias e a consulta a meses anteriores. Adicionalmente, sugere-se a criação de um sistema de alertas automáticos para a evolução dos níveis de criticidade dos municípios, ampliando a capacidade de resposta operacional da ferramenta.

## Referências

- [Agência Brasil 2025] Agência Brasil (2025). Tocantins registra mais de mil focos de queimadas em maio. Publicado em: jun. 2025. Acesso em: 17 dez. 2025.
- [Alves and Nóbrega 2011] Alves, K. M. A. d. S. and Nóbrega, R. S. (2011). Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. *Mercator (Fortaleza)*, 10(22):209–219.
- [Català et al. 2021] Català, Marchena, Conesa, and Palacios (2021). Monitoring and analysis of covid-19 pandemic: The need for an empirical approach. *Front. Public Health*.
- [G1 2025] G1 (2025). Incêndios florestais aumentam 161% no Amapá em uma semana, diz Ibama. Publicado em: 01 out. 2025. Acesso em: 07 out. 2025.
- [Granemann and Carneiro 2009] Granemann, D. C. and Carneiro, G. L. (2009). Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 1(1):55–62.

- [Huang et al. 2025] Huang, H., Chen, K., Song, B., Chen, C., Li, L., and Ling, J. (2025). Susceptibility assessment of wildfire-induced transmission line tripping using a physical-Bayesian modeling approach. *Scientific Reports*, 15(44540).
- [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 2019] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2019). Método do cálculo do risco de fogo do Programa do INPE: Versão 11. Relatório técnico, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.
- [Instituto para Redução de Riscos e Desastres de PE 2021] Instituto para Redução de Riscos e Desastres de PE (2021). COVID-19: Diagramas de Risco. <https://www.inrd.org/covid-19/diagramas-de-risco/>. Acesso em: 01/11/2025.
- [IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima 2023] IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (2023). Mudança do Clima 2023: Relatório de Síntese. Relatório de Avaliação, Organização das Nações Unidas (ONU). Acesso em: 06/11/2025.
- [MapBiomias 2025] MapBiomias (2025). Área queimada no Brasil em 2024 supera média histórica em 62%. <https://brasil.mapbiomas.org/2025/06/24/area-queimada-no-brasil-em-2024-supera-media-historica-em-62>. Acesso em: 01/11/2025.
- [Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima 2025] Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (2025). Brasil registra queda de 65,8% nas áreas queimadas e de 46,4% dos focos de calor no primeiro semestre de 2025. <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/brasil-registra-queda-de-65-8-nas-areas-queimadas-e-de-46-4-dos-focos-de-calor-no-primeiro-semester-de-2025>. Acesso em: 02/11/2025.
- [Moura 2025] Moura, R. B. (2025). Diagramas interativos para análise de risco de alagamentos na região urbana do Recife. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em sistemas de informação), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- [Oliveira et al. 2024] Oliveira, N. S., Mattos, E. V., and Reboita, M. S. (2024). Dashboard Interativo de Dados de Queimadas Utilizando o Framework Streamlit do Python. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, page 319955, Brasília, DF. Galoá.
- [Ramos 2025] Ramos, R. V. (2025). Incêndios Florestais: Uso de visualização geométrica para análise de risco. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em sistemas de informação), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- [Schettino et al. 2022] Schettino, S., Souto, T. R., Soranso, D. R., and Mendes, M. T. (2022). Monitoramento remoto como ferramenta para detecção de incêndios florestais. In *Avanços nas Ciências Florestais: Volume II*, chapter 2, pages 11–28. Editora Científica Digital, Guarujá, SP.