

|  |
| --- |
| Detetor de Incêndios  2025 |
|  |
| DAVID GOMES FIDALGO  INESCTEC  Orientadores:  Eduardo Pires, Arsénio Reis,  João Barroso, Paulo Oliveira |



**Resumo**

Este relatório apresenta o desenvolvimento e a implementação de um sistema inteligente de deteção de incêndios baseado numa arquitetura multiagente. O principal objetivo é garantir uma monitorização contínua e autónoma de diversos parâmetros críticos associados ao risco de incêndio, como fumo, comportamento instável dos animais, temperatura e concentração de gases inflamáveis, permitindo uma deteção precoce e mais fiável do que os métodos convencionais.

Para alcançar este objetivo, o sistema utiliza uma rede de sensores distribuídos, que recolhem dados em tempo real e os encaminham para uma infraestrutura composta por agentes de software especializados. Cada agente desempenha um papel distinto, como análise de tendências, correlação de eventos e tomada de decisão, assegurando uma abordagem descentralizada e eficiente.

Além disso, o sistema integra algoritmos de inteligência artificial, capazes de identificar padrões anómalos e prever potenciais focos de incêndio com maior rapidez e precisão. Esta abordagem permite reduzir significativamente os falsos alarmes e agilizar a comunicação de alertas para as entidades responsáveis, aumentando a eficácia da resposta e reforçando a segurança do ambiente monitorizado.

O relatório detalha a arquitetura do sistema, os métodos de deteção, os algoritmos implementados, bem como os testes e resultados obtidos, demonstrando a eficácia da abordagem multiagente na prevenção e mitigação de incêndios.

Índice

[1. Introdução 4](#_Toc190938375)

[1.1. Background 4](#_Toc190938376)

[1.2. Enquadramento 8](#_Toc190938377)

Índice de Tabelas

[Tabela 1: Resumo de Artigos 7](#_Toc190938821)

[Tabela 2: Fatores utilizados nos Artigos 7](#_Toc190938822)

# Introdução

|  |
| --- |
| Os incêndios florestais representam uma das ameaças mais devastadoras para os ecossistemas naturais e para a humanidade, resultando na destruição de habitats, perda de biodiversidade e impactos severos no clima global. Anualmente, milhões de hectares são consumidos pelo fogo, tornando essencial o desenvolvimento de sistemas eficazes para prever e mitigar esses eventos.  A previsão de incêndios florestais envolve a análise de múltiplos fatores ambientais e meteorológicos, como temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e precipitação. No entanto, métodos tradicionais de monitoramento e deteção precoce ainda apresentam limitações, exigindo abordagens mais avançadas. A Inteligência Artificial, inspirada no comportamento animal e nos processos naturais de tomada de decisão, surge como uma ferramenta promissora para aprimorar a previsão de incêndios. |
| "Os animais, como agentes da natureza, são forçados a responder instintivamente às chamas, lutando pela sobrevivência em um cenário onde o fogo apaga tudo o que toca." |
| Background A previsão de incêndios florestais é um problema complexo que exige modelos capazes de lidar com múltiplas variáveis ambientais, como temperatura, humidade, vento e precipitação. Métodos de forma convencionais, baseados em análise estatística e previsões meteorológicas, apresentam limitações, pois dependem de informações centralizadas e, muitas vezes, não conseguem responder em tempo real a mudanças abruptas nas condições do ambiente.  Nesse contexto, os sistemas multiagentes surgem como uma abordagem inovadora, inspirada na forma como organismos naturais interagem e reagem a ameaças no meio ambiente. Muitos animais demonstram comportamentos instintivos de antecipação ao perigo de incêndios. Por exemplo, bandos de pássaros e grupos de mamíferos ajustam seus padrões de deslocamento em resposta a variações de temperatura e vento, muitas vezes antes mesmo da chegada do fogo. Inspirando-se nesses processos naturais, um sistema multiagente pode funcionar de forma distribuída, onde agentes autônomos interagem localmente para melhorar a precisão e eficiência das previsões.  Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram conduzidas para aprimorar a deteção e previsão desses desastres ambientais. Karafyllidis et al. (1997) [1] foram pioneiros ao utilizar Autômatos Celulares (CA) para modelar a propagação do fogo. Essa abordagem, na qual cada célula interage apenas com seus vizinhos imediatos, é análoga a um sistema multiagente, onde agentes operam de forma independente, mas compartilham informações entre si para tomar decisões coletivas.  No entanto, prever incêndios exige mais do que apenas simular sua propagação. Métodos capazes de interpretar padrões complexos ao longo do tempo também se tornaram uma tendência. *Natekar et al.* (2021) [3] aplicaram Redes Neuronais Recorrentes (RNN) com LSTM para prever incêndios com base em séries temporais, identificando padrões históricos e ajustando suas previsões de acordo com mudanças sutis no ambiente.  Outra abordagem que pode ser integrada a sistemas multiagentes é o uso de modelos de inferência neuro-fuzzy, como o desenvolvido por Nebot e Mugica (2021) [2]. A lógica *fuzzy* permite que modelos tomem decisões mesmo com informações incertas ou incompletas, o que é essencial para agentes que operam em ambientes dinâmicos e imprevisíveis. Com isso, cada agente pode ajustar seu comportamento conforme novos dados se tornam disponíveis, melhorando a resposta do sistema como um todo.  Além disso, alguns estudos apontam que a combinação de diferentes técnicas de aprendizado de máquina pode aprimorar a robustez da previsão. *Ghorbanzadeh et al.* (2021) [4] compararam Redes Neuronais Artificiais (ANN), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) e Floresta Aleatória (RF), demonstrando que métodos híbridos podem melhorar a precisão das previsões. Em um sistema multiagente, essa abordagem pode ser aplicada distribuindo diferentes funções entre os agentes, tornando o sistema mais resiliente e eficiente.  A inteligência coletiva, inspirada no comportamento de enxames e colônias de animais, também tem sido explorada como uma alternativa para previsão de incêndios. *Gaikwad et al.* (2022) [5] utilizaram Algoritmos Genéticos (GA), Lógica *Fuzzy* (FL) e Redes *Bayesianas* (BN) para ajustar dinamicamente modelos de previsão. Em um sistema multiagente, agentes poderiam evoluir suas estratégias ao longo do tempo, aprimorando suas previsões e reações de acordo com a experiência adquirida, tal como ocorre em sistemas biológicos adaptativos.  Paralelamente, a deteção de incêndios também pode ser aprimorada com redes de sensores distribuídas. *Kumar et al.* (2019) [7] propuseram um modelo baseado em redes de sensores sem fio, onde cada nó da rede funciona como um agente autônomo capaz de monitorar variáveis ambientais e comunicar alertas a outros agentes próximos. Essa abordagem permite um monitoramento descentralizado e em tempo real, reduzindo o tempo de resposta a incêndios.  Outra contribuição relevante nesse campo foi feita por Al Janabi et al. (2018) [6], que integraram sistemas multiagentes com inteligência artificial. Nesse estudo, os agentes são capazes de aprender localmente a partir dos dados da sua região e colaborar para refinar previsões, tornando o sistema mais adaptativo e eficiente. Essa abordagem demonstra o potencial de um sistema multiagente onde os agentes interagem, aprendem e tomam decisões coordenadas para melhorar a deteção e contenção de incêndios.  Além dessas estratégias, algumas pesquisas exploraram a combinação de sensores locais e imagens de satélite para monitoramento de incêndios. *Cortez e Morais* (2007) [9] analisaram a eficácia dessa abordagem e mostraram que, apesar de sua precisão ser limitada (61%), um sistema descentralizado de sensores poderia oferecer uma resposta mais eficaz. Quando aplicado a um sistema multiagente, cada agente pode funcionar como um sensor autônomo, otimizando a comunicação entre os nós e a reação ao perigo.  Por fim, algumas abordagens eliminam a necessidade de previsões meteorológicas externas e operam com base exclusivamente em variáveis ambientais locais. *Sakr et al.* (2010) [8] demonstraram que a previsão de incêndios pode ser feita de maneira autônoma, analisando dados como temperatura, umidade e vento diretamente no local. Isso reforça a viabilidade de um sistema multiagente autônomo, onde cada agente pode operar de forma independente, tomando decisões localmente e reduzindo a dependência de uma infraestrutura centralizada.  Diante dessas abordagens, fica evidente que os modelos mais promissores para a previsão de incêndios são aqueles que incorporam inteligência distribuída, aprendizado adaptativo e cooperação entre agentes autônomos. Ao combinar técnicas como redes neurais recorrentes, lógica *fuzzy*, autômatos celulares e algoritmos inspirados no comportamento animal, um sistema multiagente pode oferecer previsões mais eficientes, permitindo respostas mais rápidas e eficazes à ameaça dos incêndios florestais.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Trabalho | Fatores | Modelo(s) | Precisão | | [1] | Direção e velocidade do vento | Autômatos Celulares | N/A | | [3] | Padrões temporais, histórico de incêndios | RNN (LSTM) | 94.77% | | [2] | Clima e condições meteorológicas | FIR, ANFIS | 89% | | [4] | Temperatura, humidade, vento | ANN, SVM, RF | 88% | | [5] | Aprendizado evolutivo, comportamento adaptativo | GA, FL, BN | 90% | | [7] | Redes de sensores distribuídas | Redes de Sensores sem fio | N/A | | [6] | Aprendizado local e colaboração entre agentes | Sistemas Multiagentes com IA | N/A | | [9] | Sensores locais e imagens de satélite | Monitoramento remoto via satélite | 61% | | [8] | Variáveis ambientais locais (temperatura, humidade, vento) | Previsão autônoma sem dados meteorológicos | 96% |   Tabela 1: Resumo de Artigos   |  |  |  | | --- | --- | --- | | Identificação | Fator | Número de Artigos | | 1 | Temperatura | 6 | | 2 | Vento | 5 | | 3 | Humidade | 4 | | 4 | Precipitação | 3 | | 5 | Padrões Temporais | 2 | | 6 | Redes de Sensores | 2 | | 7 | Aprendizado Adaptativo | 3 | | 8 | Autômatos Celulares | 1 | | 9 | Lógica Fuzzy | 3 | | 10 | Sistemas Multiagentes | 2 |   Tabela 2: Fatores utilizados nos Artigos Enquadramento Na natureza, diversos animais demonstram comportamentos preditivos e reativos a mudanças ambientais, o que lhes permite antecipar riscos, incluindo incêndios florestais. Por exemplo:   * Pássaros e mamíferos -> frequentemente migram para áreas mais seguras antes da chegada de incêndios. * Insetos e pequenos répteis -> demonstram mudanças de comportamento ao detetar variações súbitas na temperatura e umidade. * Sistemas de enxame -> como o movimento coletivo de bandos e cardumes, refletem processos descentralizados de tomada de decisão, similares aos utilizados em algoritmos de aprendizado de máquina. |
|  |
| Bibliografia Não existem fontes no documento atual. |