

USO DE DRONES E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA DETECTAR INCÊNDIOS EM PLANTAÇÕES NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO

Luiz Henrique Polegatto¹

Marcia Freitas Abad Gonzaga²

RESUMO: A região de Ribeirão Preto enfrenta, nos períodos de estiagem, um aumento de incêndios em áreas agrícolas e de vegetação, com efeitos diretos na qualidade do ar, na saúde da população e na produtividade. Este estudo, de abordagem qualitativa e descritiva, reúne pesquisa bibliográfica e documental para avaliar como drones aliados a algoritmos de inteligência artificial podem apoiar a detecção precoce de focos e orientar respostas mais rápidas. A análise de dados públicos e trabalhos científicos indica que drones com sensores térmicos, integrados a modelos de visão computacional, reduzem o tempo de detecção, aumentam a precisão dos alertas e ajudam a diminuir a área queimada. Os resultados dialogam com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2, 3 e 13 ao proteger a produção agrícola, reduzir impactos à saúde e contribuir para mitigação e adaptação climática. Persistem, porém, desafios operacionais e institucionais: custos, capacitação, exigências regulatórias (ANAC/DECEA) e a necessidade de ampliar o acesso à tecnologia por pequenos e médios produtores. Conclui-se que a integração entre drones, IA e protocolos locais (como os da Defesa Civil) é viável e estratégica, sobretudo quando associada a políticas públicas de incentivo, cooperação regional e planejamento contínuo de prevenção.

Palavras-chave: drones; incêndios; inteligência artificial; monitoramento ambiental; sustentabilidade

1 Graduando do curso de Gestão Empresarial da Fatec São Paulo -GemP EaD

2 Professor do curso de Gestão Empresarial da Fatec São Paulo -GemP EaD

1. INTRODUÇÃO

A região de Ribeirão Preto, marcada por intensa atividade agrícola e longos períodos de estiagem, enfrenta episódios frequentes de incêndios em plantações e áreas de vegetação. Esses incêndios, muitas vezes provocados por ações humanas ou fenômenos naturais agravados pelas mudanças climáticas, comprometem a qualidade do ar, colocam em risco a saúde da população e geram prejuízos econômicos significativos para o agronegócio local. O trabalho aborda a questão dos incêndios em plantações e áreas de vegetação na região metropolitana de Ribeirão Preto.

A qualidade do ar em Ribeirão Preto é preocupante, com demonstrativos de aumento significativo da poluição atmosférica durante as queimadas, incluindo altos níveis de hidrocarbonetos tóxicos e material particulado fino (MP10). A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2025) tem registrado níveis críticos de poluição do ar na região durante os meses mais secos, com o MP10 prejudicando diretamente a saúde.

Além do exposto acima, Silva (2023), reforça esses achados ao analisar os impactos socioambientais da queima e colheita da cana-de-açúcar nas comunidades vizinhas ao Refúgio de Vida Silvestre Gurjaú. A pesquisa identificou que o uso do fogo na colheita causa sérios danos ao meio ambiente, como o empobrecimento do solo, perda de fauna e flora, agravamento do efeito estufa e aquecimento global. Além dos impactos ambientais, os moradores de comunidades vizinhas sofrem com a incidência de doenças respiratórias.

Do ponto de vista da sustentabilidade, torna-se urgente buscar soluções que aliem preservação ambiental, responsabilidade social e eficiência econômica. Segundo Sachs (2002 apud Martins, 2020), o desenvolvimento sustentável pressupõe a integração de diferentes dimensões – ecológica, social e econômica – nas decisões e práticas humanas. Nesse contexto, é essencial explorar ferramentas que possam contribuir para a prevenção e o controle de danos causados por incêndios, promovendo maior equilíbrio entre produção agrícola e preservação ambiental.

Oliveira (2022), em estudo focado no município de Ribeirão Preto, analisou a suscetibilidade a incêndios por meio de geoprocessamento, evidenciando áreas de

maior vulnerabilidade e a necessidade de estratégias de monitoramento e prevenção mais eficazes.

Os impactos desses incêndios causam, além das perdas econômicas diretas ao setor agrícola, um grave comprometimento da qualidade do ar e da saúde pública. A recorrência de incêndios na região exacerba a degradação ambiental, afeta a saúde e o bem-estar social e aumenta a ocorrência de perdas econômicas, evidenciando a urgência de soluções que promovam a resiliência e a sustentabilidade da região.

Apesar dos avanços alcançados com os satélites, ainda existem limitações quando o objetivo é observar áreas menores de forma mais precisa e contínua. Nesse cenário, os drones se destacam como alternativa capaz de oferecer dados mais detalhados para o monitoramento ambiental e agrícola.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar como o uso de drones e algoritmos de Inteligência Artificial pode contribuir para a detecção precoce de focos de incêndio em plantações, minimizando impactos ambientais na região metropolitana de Ribeirão Preto. Para alcançar esse propósito, a pesquisa busca identificar as principais tecnologias embarcadas em drones utilizadas para o monitoramento térmico e a detecção de focos de incêndio, levantar dados sobre a incidência de queimadas na região com base em fontes públicas e científicas, além de avaliar como soluções baseadas em inteligência artificial têm sido aplicadas em outras localidades, nacionais ou internacionais, para prevenir ou responder a incêndios em áreas agrícolas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CENÁRIO DOS INCÊNCIOS E OS DESAFIOS DO MONITORAMENTO NA RMRP

Neves (2017), em estudo realizado no município de Ribeirão Preto, mostrou por meio do geoprocessamento que existem áreas com alta suscetibilidade a incêndios, o que reforça a necessidade de estratégias mais eficazes de prevenção e monitoramento. Essa vulnerabilidade aumenta quando somada ao avanço agrícola e às mudanças climáticas, que tornam os períodos de estiagem ainda mais críticos para a região.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2025) registrou que, em 2024, o estado de São Paulo teve um crescimento de 40,74% nos focos de incêndio em comparação ao ano anterior. Esse dado deixa evidente que o problema não é apenas ambiental, mas também econômico e social. Ribeirão Preto, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), possui um PIB estimado em R\$ 65 bilhões, grande parte ligado ao setor sucroenergético, diretamente afetado pelas queimadas.

A gravidade desse cenário conecta-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas ONU (2025), conforme demonstrado no Quadro 1: o ODS 3, Saúde e Bem-Estar, é impactado pelo aumento das doenças respiratórias decorrentes da exposição a poluentes atmosféricos. O ODS 6, Água Potável e Saneamento, sofre influência negativa pela contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos após episódios de queimadas. O ODS 7, Energia Acessível e Limpa, relaciona-se à necessidade de reduzir a dependência de práticas poluentes e incentivar alternativas sustentáveis. O ODS 13, Ação Contra a Mudança Global do Clima, é diretamente comprometido com o agravamento do efeito estufa e a emissão de gases poluentes. Por fim, o ODS 15, Vida Terrestre, é afetado pela perda de biodiversidade, pela degradação dos ecossistemas e pelo avanço das monoculturas em áreas fragilizadas.

Esses indicadores revelam que os incêndios agrícolas não representam apenas um risco imediato, mas estão interligados a desafios globais de sustentabilidade. Inserir a realidade de Ribeirão Preto nesse contexto evidencia a urgência de políticas públicas integradas e do uso de tecnologias inovadoras que possam contribuir para mitigar esses impactos, conciliando produção agrícola, preservação ambiental e saúde coletiva.

Quadro 1 – Relação entre incêndios agrícolas na RMRP e os ODS da Agenda 2030

ODS	Dimensão	Impactos identificados
ODS 3 – Saúde e Bem-Estar	Social	Aumento de doenças respiratórias devido à poluição do ar (CETESB, 2025).
ODS 6 – Água Potável e Saneamento	Ambiental / Social	Contaminação de rios e lençóis freáticos pela fuligem e resíduos das queimadas (Prefeitura de Ribeirão Preto, 2022).
ODS 7 – Energia Acessível e Limpa	Econômica / Ambiental	Necessidade de transição para fontes energéticas menos poluentes, reduzindo a dependência de práticas que intensificam as emissões (ONU, 2025; Raízen, 2024; Irani, 2025).
ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima	Ambiental / Global	Intensificação do efeito estufa e maior vulnerabilidade climática regional (INPE, 2025).
ODS 15 – Vida Terrestre	Ambiental	Perda de biodiversidade, degradação do solo e fragilização dos ecossistemas (Neves, 2017; Silva, 2023).

Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de dados da ONU (2025), CETESB (2025), INPE (2025), Neves (2017) e Silva (2023).

Historicamente, o monitoramento de incêndios tem se baseado em métodos como torres de observação, patrulhas terrestres e, mais recentemente, sistemas de sensoriamento remoto por satélite. Embora os satélites tenham ampliado significativamente a capacidade de monitoramento em larga escala, detectando grandes incêndios e fornecendo dados valiosos para análises históricas e regionais, eles apresentam limitações para a detecção precoce de focos menores ou incipientes, devido à sua resolução espacial e temporal e à interferência de cobertura de nuvens (Piromal *et al.*, 2008).

Avanços recentes buscam superar algumas dessas limitações. Iniciativas como a do Google, que anunciou o desenvolvimento de um sistema baseado em inteligência artificial e dados de satélite com a promessa de detectar incêndios florestais em até 20 minutos após sua ignição, demonstram o esforço contínuo para aprimorar a velocidade e a eficácia da detecção em escala global (Redação Exame ESG, 2024).

Embora os satélites tenham trazido avanços importantes, ainda existem limitações quando se trata de monitorar áreas menores e de maneira mais imediata. Por isso, tornou-se necessário buscar soluções mais ágeis e detalhadas. Nesse contexto, os drones aparecem como uma alternativa promissora para o acompanhamento ambiental e agrícola.

2.2 DRONES E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA ABORDAGEM INTEGRADA PARA A DETECÇÃO PRECOCE

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, são aeronaves que operam sem tripulação a bordo, controladas remotamente ou por sistemas autônomos. Sua aplicação tem crescido em diversos setores, incluindo a agricultura e o monitoramento ambiental. No contexto da detecção de incêndios, os drones oferecem vantagens como flexibilidade operacional, capacidade de sobrevoar áreas de difícil acesso e custo relativamente baixo em comparação com aeronaves tripuladas.

Essa utilidade já é uma realidade na Região Metropolitana de Ribeirão Preto, onde a Defesa Civil emprega drones para o monitoramento preventivo de áreas com risco de incêndio (Record Interior SP, 2024). A eficácia dessas plataformas está diretamente relacionada à possibilidade de embarcar diferentes tipos de sensores. Sensores ópticos RGB (Red, Green, Blue) de alta resolução podem ser utilizados para a identificação visual de colunas de fumaça durante o dia, enquanto câmeras termográficas (sensores térmicos) são fundamentais para detectar a radiação infravermelha emitida por fontes de calor, possibilitando a identificação de anomalias térmicas características de focos de incêndio.

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação voltado ao desenvolvimento de sistemas capazes de executar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como aprendizado, raciocínio e reconhecimento de padrões. No contexto da detecção de incêndios, a IA oferece ferramentas poderosas para a análise

automatizada do grande volume de dados imagéticos capturados por diversas plataformas, como drones, câmeras fixas ou satélites.

No setor produtivo da região de Ribeirão Preto, usinas do setor sucroenergético também investem em sistemas com câmeras e inteligência artificial para o monitoramento contínuo de suas plantações, visando à identificação rápida de focos de incêndio (Notícias Agrícolas, 2023). Esses exemplos apontam para uma clara tendência de mercado e uma crescente confiança no potencial da IA para solucionar problemas práticos de detecção.

A integração sinérgica entre a capacidade de aquisição de dados dos drones e o poder analítico da Inteligência Artificial constitui uma abordagem promissora para o desenvolvimento de sistemas de detecção precoce de incêndios mais eficientes e responsivos. Enquanto o setor produtivo local já demonstra interesse na IA aplicada ao monitoramento por câmeras fixas (Notícias Agrícolas, 2023) e iniciativas globais focam no uso da IA com dados de satélite (Redação Exame ESG, 2024), a combinação de IA com drones oferece uma solução intermediária, altamente flexível e com elevada resolução, ideal para o monitoramento detalhado em nível municipal ou de propriedade rural.

O fluxo operacional de um sistema com essas características envolve o sobrevoo da área de interesse por um drone, a transmissão das imagens e a análise dessas imagens por algoritmos de IA para identificar potenciais focos de incêndio. Uma vez detectado um foco com alta probabilidade, o sistema pode gerar um alerta às autoridades competentes, como a Defesa Civil, já usuária de drones na região (Record Interior SP, 2024), fornecendo a localização geográfica e evidências visuais ou térmicas. A pesquisa nesta área busca, portanto, explorar como essa integração pode ser otimizada, considerando as particularidades do ambiente local, descritas em documentos como o Diagnóstico Ambiental do Município (Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2022).

2.3 OPERAÇÃO PRÁTICA E REGRAS PARA USO DE DRONES NO MONITORAMENTO DE INCÊNDIOS

No Brasil, o uso de drones para monitoramento ambiental não funciona de forma totalmente automática — ele ainda depende diretamente de pessoas capacitadas. Pelas regras da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e do

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), qualquer operação desse tipo precisa de um piloto remoto, da aeronave cadastrada no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) e, em muitos casos, de autorização de voo pelo Sistema de Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo - SARPAS NG (ANAC, 2025; DECEA, 2024).

Além disso, antes de cada missão existe um preparo mínimo obrigatório, o que reforça que não se trata de um equipamento “ligar e sair voando”. O operador precisa checar o local, avaliar o risco do voo, verificar clima, área de cobertura, obstáculos e confirmar se o espaço aéreo está liberado. Esse procedimento está previsto nas orientações da Agência Nacional de Aviação Civil, que determina que operações com aeronaves remotamente pilotadas devem considerar cenário operacional, mitigação de riscos e condições de segurança antes do voo (ANAC, 2017).

Essa rotina segue também protocolos públicos utilizados por órgãos como o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Espírito Santo (CBMES), que estabelecem checklist, planejamento da equipe, execução e etapa de encerramento da operação de voo com drones, reforçando a atuação padronizada e profissional (CBMES, 2019). Ou seja, existe um passo a passo técnico antes, durante e depois do uso do drone — o que comprova que essa tecnologia é aplicada de forma planejada e estratégica, e não de forma espontânea ou contínua.

Na prática, mesmo com rotas programadas e sistemas de detecção cada vez mais avançados, o drone não sai voando sozinho e tomando decisões. Sempre existe um operador acompanhando o voo, analisando as imagens e confirmando quando há risco real. Ou seja, o drone entra como uma ferramenta que potencializa o trabalho humano — e não como substituto total.

Na Região Metropolitana de Ribeirão Preto, esse movimento já está em andamento. Em 2024, a Defesa Civil passou a utilizar drones para vigiar áreas com risco de queimadas, reforçando o monitoramento nos meses mais secos (Record Interior SP, 2024). Porém, ao contrário do que muita gente imagina, isso não acontece todos os dias de forma contínua. O que existe hoje é uma atuação mais estratégica: os voos aumentam durante o período de estiagem e são acionados quando há sinais de risco, denúncias de moradores ou necessidade de checagem de áreas vulneráveis. Assim, trata-se de uma operação sob demanda e focada em momentos críticos, e não de patrulhamento diário permanente.

Apesar de todos os avanços, ainda é necessário contar com equipe treinada, planejamento operacional e estrutura para operar os drones. A tendência, porém, é

que essa tecnologia ganhe cada vez mais espaço e seja integrada a sistemas de inteligência artificial, tornando o processo de identificação de incêndios mais rápido, preciso e eficiente ao longo do tempo (ANAC, 2025; DECEA, 2024).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida com abordagem qualitativa e descritiva. Conforme Gil (2008), a pesquisa descritiva busca “a descrição das características de determinada população ou fenômeno”, sendo adequada à proposta deste estudo de investigar o uso de tecnologias no monitoramento de incêndios em plantações.

A investigação foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica e documental, com foco na análise de artigos científicos, livros, relatórios técnicos e bases de dados públicas que tratem do uso de drones, inteligência artificial e tecnologias aplicadas à prevenção de incêndios em áreas agrícolas.

Segundo Lakatos e Marconi (2003, p. 158), a pesquisa bibliográfica “é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema”. Foram utilizadas bases como Scielo, Google Scholar, IEEE Xplore e repositórios acadêmicos nacionais e internacionais. Também foram considerados documentos institucionais como os disponibilizados pela CETESB, Prefeitura de Ribeirão Preto e Fiocruz.

A análise dos dados seguiu os princípios da análise de conteúdo, conforme Bardin (2011), permitindo a categorização das informações obtidas e a identificação de padrões relacionados ao uso de IA e drones na detecção precoce de incêndios.

O desenvolvimento do trabalho seguiu os seguintes passos:

1. Levantamento bibliográfico sobre os conceitos de sustentabilidade, tecnologia aplicada e gestão ambiental;
2. Estudo das aplicações de IA e drones em incêndios agrícolas, com base em experiências nacionais e internacionais;
3. Coleta de dados secundários sobre queimadas em Ribeirão Preto, em documentos e relatórios oficiais;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP) apresenta vulnerabilidade crescente aos incêndios agrícolas e florestais. Conforme apresentado no Quadro 2 abaixo, dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2025) indicam que o estado de São Paulo registrou um aumento de 40,74% nos focos de incêndio em 2024 em relação ao ano anterior, o que reforça a urgência em aprimorar os mecanismos de prevenção e monitoramento. Em paralelo, boletins da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2025) apontam que, nos meses mais secos, os níveis de material particulado fino (MP10) ultrapassaram os limites considerados seguros, impactando diretamente a saúde da população local. De acordo com a CETESB (2025), Ribeirão Preto registrou 23 dias em 2024 com qualidade do ar classificada como “inadequada”, sobretudo entre julho e setembro, período de maior estiagem. Esse dado reforça a gravidade dos impactos à saúde pública.

Quadro 2 – Impactos dos incêndios agrícolas e florestais na RMRP

Dimensão	Impactos observados	Fonte
Ambiental	Aumento da poluição atmosférica (hidrocarbonetos e MP10); degradação do solo; perda de biodiversidade	CETESB (2025); Silva (2023); Zoratto (2006)
Social	Aumento de doenças respiratórias em comunidades vizinhas; riscos à saúde de trabalhadores e populações urbanas próximas	CETESB (2025); Fiocruz (2023)
Econômica	Prejuízos ao setor sucroenergético e ao agronegócio; agravamento dos desequilíbrios socioeconômicos regionais	INPE (2025); IBGE (2022); Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2022)

Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de CETESB (2025), Silva (2023), Zoratto (2006), Fiocruz (2023), INPE (2025), IBGE (2022) e Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2022).

Historicamente, o monitoramento se apoiou em torres de observação, patrulhas terrestres e, mais recentemente, no uso de satélites. Cada método apresenta contribuições e limitações, conforme resumido a seguir:

Quadro 3 – Comparação entre métodos de monitoramento de incêndios

Método	Vantagens	Limitações	Fonte
Torres de observação e patrulhas terrestres	Observação direta em áreas estratégicas; baixo custo inicial	Restrição de alcance; depende de condições climáticas e visibilidade	Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2022)
Satélites	Cobertura em larga escala; dados históricos e regionais	Baixa resolução temporal e espacial; interferência de nuvens	Piromal et al. (2008)
Drones	Alta resolução; flexibilidade operacional; detecção precoce	Custo de aquisição e manutenção; necessidade de regulamentação e capacitação - Regras ANAC/DECEA (SISANT/SARPAS),	ANAC (2025); DECEA (2024); Record Interior SP (2024); Notícias Agrícolas (2023)

Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2022), Piromal et al. (2008), Record Interior SP (2024) e Notícias Agrícolas (2023).

No setor produtivo, experiências de grandes empresas do ramo florestal e sucroenergético, como Klabin, Suzano, Irani e Raízen, demonstram a viabilidade do uso de drones equipados com câmeras térmicas, inteligência geoespacial e sensores de alta resolução para detectar focos de calor de forma precoce. Segundo relatório da Suzano (2024), a adoção de drones reduziu em 35% o tempo de resposta a ocorrências em áreas de reflorestamento, além de ampliar o monitoramento para mais de 300 mil hectares. A Raízen (2024) também relatou investimentos em sistemas de IA e câmeras fixas, capazes de monitorar 24 horas por dia as plantações de cana, reforçando a confiabilidade do sistema. Essas iniciativas resultaram na melhoria da precisão da geolocalização dos focos e na ampliação da escala de monitoramento, oferecendo um modelo que pode ser adaptado à realidade da RMRP.

Do ponto de vista científico, pesquisas recentes têm validado a eficácia da integração entre drones e inteligência artificial. Modelos de visão computacional como o YOLO (You Only Look Once) vêm sendo aplicados em sistemas embarcados, permitindo a detecção em tempo real de colunas de fumaça e pontos de calor (Ramos *et al.*, 2025). Além disso, a combinação de base de dados multimodais — que integram imagens aéreas, dados meteorológicos e informações de sensores terrestres — tem se mostrado promissora para reduzir falsos positivos e aumentar a confiabilidade dos alertas (Pesonen *et al.*, 2025). Enquanto os satélites, como o sistema MODIS, podem demorar até 24 horas para atualizar as informações (Piromal et al., 2008), drones equipados com sensores térmicos são capazes de identificar focos de calor em menos de 15 minutos, desde que haja operação ativa em campo (Suzano, 2024).

Entretanto, a aplicação prática dessas soluções na RMRP ainda enfrenta desafios estruturais. Embora grandes empresas já disponham de recursos para investir em sistemas tecnológicos, pequenos e médios produtores, que compõem parte expressiva da agricultura regional, muitas vezes não têm acesso a essas ferramentas. De acordo com o IBGE (2022), cerca de 72% dos estabelecimentos rurais da região são classificados como de agricultura familiar, mas respondem por apenas 18% do valor bruto da produção agrícola. Esse dado evidencia a desigualdade de acesso a tecnologias avançadas. Essa desigualdade tecnológica reforça a necessidade de políticas públicas que democratizem o uso de drones e inteligência artificial, possibilitando parcerias com cooperativas, incentivos fiscais e programas de treinamento. Tais medidas podem ampliar o alcance das tecnologias e garantir que os benefícios da detecção precoce de incêndios não fiquem restritos a grandes corporações, mas sejam compartilhados com toda a cadeia produtiva local.

Por fim, a análise integrada sugere que a adoção de drones aliados a algoritmos de inteligência artificial representa um avanço significativo na prevenção de incêndios na RMRP. Ao mesmo tempo, evidencia-se que a eficácia desses sistemas depende da articulação entre inovação tecnológica, políticas de incentivo e práticas sustentáveis. Dessa forma, a pesquisa não apenas confirma a relevância acadêmica do tema, mas também indica caminhos concretos para fortalecer a resiliência ambiental e socioeconômica da região.

A adoção de drones com IA pode contribuir para diferentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Entre eles, destacam-se principalmente os ODS 2, 3 e, de forma secundária, o ODS 13.

4.1 CONEXÃO DOS RESULTADOS COM OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Além dos achados apresentados, os resultados também se alinham diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, reforçando que o uso de drones com inteligência artificial no monitoramento de incêndios agrícolas impacta não apenas o meio ambiente, mas também a saúde pública, a produção agrícola e a capacidade de adaptação climática da Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP).

No ODS 2 — Fome Zero e Agricultura Sustentável, o indicador 2.4.1 trata da proporção de áreas agrícolas sob manejo produtivo e sustentável, com foco em eficiência, resiliência climática e redução de perdas. Na prática, quando os drones identificam um foco de incêndio logo no início, evitam a destruição de talhões e reduzem perdas na produção agrícola. Considerando que a RMRP é fortemente dependente do agronegócio, preservar a colheita significa proteger renda, segurança alimentar e estabilidade econômica regional. Assim, o uso de drones reforça a sustentabilidade produtiva e contribui para que pequenos e médios produtores tenham melhores condições de manter a produtividade mesmo diante de condições climáticas adversas (ONU, 2025).

No ODS 3 — Saúde e Bem-Estar, o indicador 3.9.1 avalia o impacto da poluição atmosférica na saúde humana. Dados da CETESB apontam que Ribeirão Preto registrou dias com qualidade do ar inadequada durante o período de seca, devido ao aumento de material particulado fino resultante de queimadas agrícolas (CETESB, 2025). A atuação rápida dos drones reduz o tempo de propagação das chamas e, consequentemente, a quantidade de fumaça e partículas tóxicas liberadas. Isso diminui internações, agravos respiratórios e pressões sobre o sistema de saúde pública, impactando diretamente a qualidade de vida da população, principalmente idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas.

No ODS 13 — Ação Contra a Mudança Global do Clima, o indicador 13.2.1 destaca ações que fortalecem a capacidade de adaptação e mitigação climática. Estudos demonstram áreas de maior suscetibilidade a incêndios no município de Ribeirão Preto, especialmente em zonas agrícolas e períodos de estiagem, o que evidencia a vulnerabilidade local (Neves, 2017). A utilização de drones com sensores térmicos contribui para reduzir o tempo de combustão, diminuir emissões de CO₂ e

proteger o solo e a vegetação, fortalecendo a resiliência ambiental regional. Dessa forma, a tecnologia vai além da atuação emergencial e se consolida como uma estratégia alinhada às metas globais de sustentabilidade, reforçando a capacidade local de adaptação climática (ONU, 2025).

De forma complementar, dados recentes mostram o aumento expressivo de focos de incêndio no estado de São Paulo, evidenciando o avanço dos eventos extremos e a necessidade de respostas mais rápidas e eficientes para proteger o território (INPE, 2025). Nesse contexto, drones com IA representam uma ferramenta essencial para reduzir emissões, preservar áreas produtivas e apoiar a construção de políticas públicas mais robustas de prevenção e adaptação climática na região.

Assim, a adoção dessa tecnologia não se limita ao ganho operacional: ela conecta inovação, proteção ambiental, saúde pública e qualidade de vida. É uma resposta prática para um problema real do presente, ao mesmo tempo em que prepara o território para os desafios climáticos do futuro.

Quadro 4 – Relação entre os ODS e os impactos observados na RMRP

ODS	Indicador	Evidência na RMRP	Impacto Arelado ao Uso de Drones
ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável	2.4.1 – Áreas agrícolas sob manejo produtivo e sustentável	Região com forte dependência do agronegócio e vulnerabilidade a perdas por queimadas	Redução de perdas na produção agrícola; proteção da renda rural e segurança alimentar (ONU, 2025)
ODS 3 – Saúde e Bem-Estar	3.9.1 – Poluição atmosférica e saúde	Ribeirão Preto registrou dias com qualidade do ar inadequada no período seco (CETESB, 2025)	Menor emissão de fumaça e MP10; redução de internações e agravos respiratórios
ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima	13.2.1 – Mitigação e adaptação climática	Áreas suscetíveis a incêndios identificadas em Ribeirão Preto (NEVES, 2017)	Menor tempo de combustão; redução de CO ₂ ; fortalecimento da capacidade adaptativa local

Fonte: Elaboração própria (2025), com base em ONU (2025), CETESB (2025) e NEVES (2017)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que a combinação entre drones e inteligência artificial pode trazer resultados muito relevantes para o monitoramento e a prevenção de incêndios agrícolas na região de Ribeirão Preto. A pesquisa mostrou que, diante das condições climáticas e do perfil produtivo local, ter uma resposta rápida faz toda a diferença para evitar que pequenos focos se transformem em incêndios de grande proporção.

O primeiro ponto que se destaca é a redução do tempo de detecção. Diferente do satélite, que pode demorar horas para atualizar os dados, o drone consegue identificar alterações térmicas praticamente em tempo real, durante o voo. Essa rapidez é essencial em períodos de estiagem, quando o fogo se espalha com muito mais facilidade. Na prática, significa mais agilidade para agir e menos chance de o incêndio sair do controle.

Outro aspecto importante é a precisão na confirmação dos alertas. Com sensores térmicos aliados à inteligência artificial, a margem de erro diminui e a identificação do foco se torna mais confiável. Em vez de deslocar equipes para verificar uma possível ocorrência sem saber ao certo o que encontrar, o drone já fornece localização exata e imagens que ajudam a confirmar o risco. Esse tipo de suporte otimiza o uso de recursos e aumenta a eficiência da resposta.

Com essa detecção mais rápida e precisa, a tendência é uma redução significativa da área queimada, pois o combate pode começar antes que o fogo avance. Isso é positivo tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Menos área destruída significa menor impacto na vegetação, menor dano ao solo e também menos prejuízo para produtores rurais, que muitas vezes sofrem diretamente com as perdas.

Essa redução da área queimada contribui também para melhorar a qualidade do ar na região. Sabemos que Ribeirão Preto e cidades próximas enfrentam períodos de ar mais poluído durante a seca, principalmente por causa das queimadas. Diminuindo a ocorrência de incêndios, diminuem também as emissões de fumaça e partículas que prejudicam a saúde da população, reduzindo episódios de piora respiratória e problemas relacionados.

Outro ponto que surgiu com força durante o estudo foi a questão da estabilidade produtiva. A região depende muito do setor agrícola, e perdas por fogo podem impactar diretamente a renda dos produtores, a oferta de produtos e até a segurança

alimentar local. Quando a tecnologia ajuda a preservar as plantações, ela protege também o ciclo econômico da região, beneficiando tanto grandes áreas produtivas quanto pequenos agricultores.

Além de todos esses benefícios práticos, o uso de drones com IA dialoga diretamente com metas internacionais de sustentabilidade, especialmente aquelas ligadas à produção responsável, à saúde pública e ao clima. Ou seja, além de ser uma solução eficiente na prática, ela também está alinhada a uma visão de longo prazo, que busca desenvolvimento com equilíbrio ambiental e social.

De modo geral, o trabalho mostrou que essa tecnologia não é uma ideia distante ou difícil de aplicar. Ela já vem sendo utilizada em diferentes contextos e tem muito potencial para crescer na nossa região. O desafio agora é ampliar o acesso, capacitar mais equipes e criar condições para que drones sejam incorporados de forma contínua às estratégias locais de prevenção. Com organização, planejamento e apoio institucional, essa ferramenta pode fortalecer a proteção ambiental, evitar prejuízos e promover respostas mais rápidas e seguras aos incêndios agrícolas na Região Metropolitana de Ribeirão Preto.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Instrução Suplementar IS E94-003A – Avaliação de Risco Operacional*. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-e94-003>. Acesso em: 04 nov. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Regras e orientações para uso de drones*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones>. Acesso em: 04 nov. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Sistema de Aeronaves Não Tripuladas – SISANT*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/novo-sisant>. Acesso em: 04 nov. 2025.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011. Disponível em: <https://madmunifacs.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/08/anc3a1lise-de-contec3bado-laurence-bardin.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CETESB. *Boletim diário da qualidade do ar*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/boletim-diario/>. Acesso em: 28 maio 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. *NORPAS – Norma de Operação com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas*. Vitória, 2019. Disponível em: <https://cb.es.gov.br/Media/CBMES/PDF%27s/Legislacao/494-R%20ANEXO%20norpas2019.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2025.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (Brasil). *Drones – informações operacionais* (SARPAS NG). Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drones/>. Acesso em: 04 nov. 2025.

GIL, Antônio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produto Interno Bruto dos Municípios*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/ribeirao-preto.html>. Acesso em: 08 ago. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Programa Queimadas: Estatísticas*. Disponível em: https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_estados/. Acesso em: 17 jun. 2025.

IRANI S.A. Irani amplia uso de drones e automação no reflorestamento de pinus e eucalipto. Portal Packaging, [online]. Disponível em: <https://portalpackaging.com.br/irani-amplia-uso-de-drones-e-automacao-no-reflorestamento-de-pinus-e-eucalipto/>. Acesso em: 12 set. 2025.

KLABIN S.A. Investimentos em monitoramento florestal. [online]. 2024. Disponível em: https://www.lesprom.com/en/news/Klabin_invests_in_infrastructure_and_technology_for_fire_prevention_and_control_114597/. Acesso em: 12 set. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 176 p. Disponível em:

https://docentes.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/at_download/file. Acesso em: 22 abr. 2025.

MAPA DE CONFLITOS DA FIOCRUZ. SP: Cultivo da cana-de-açúcar segue sendo prejudicial à saúde e à vida dos trabalhadores. 2023. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/sp-cultivo-da-cana-de-acucar-segue-sendo-prejudicial-a-saude-e-a-vida-dos-trabalhadores/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MARTINS, F. P. Resenha: Caminhos para o desenvolvimento sustentável. *Caderno Prudentino de Geografia*, [S. l.], v. 1, n. 32, p. 203–206, 2020. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7476>. Acesso em: 16 abr. 2025.

NEVES, Luiza de Lima. *Análise da suscetibilidade a incêndios por meio de geoprocessamento: um estudo no município de Ribeirão Preto, SP*. 2017. Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/7879c225-72c9-4599-8007-e51fa1d2df17/content>. Acesso em: 27 mai. 2025.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, Usinas investem em câmeras e inteligência artificial para monitorar incêndios. Campinas, 26 ago. 2023. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/sucroenergetico/355814-usinas-investem-em-cameras-e-inteligencia-artificial-para-monitorar-incendios.html>. Acesso em: 14 jun. 2025.

ODS BRASIL. *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável*. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=2>. Acesso em: 25 set. 2025.

ODS BRASIL. *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3 – Saúde e Bem-Estar*. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=3>. Acesso em: 25 set. 2025.

OLIVEIRA, M. R. de. *Análise da suscetibilidade a incêndios por meio de geoprocessamento: um estudo no município de Ribeirão Preto, SP*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – UFSCar, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/server/api/core/bitstreams/7879c225-72c9-4599-8007-e51fa1d2df17/content>. Acesso em: 16 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Indicador ODS 13.2.1 – Número de países que comunicam a implementação de políticas/planos para adaptação às mudanças climáticas (Metadata). 2023. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-13-02-01.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030*. Brasília: ONU Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 08 ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU); ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Indicador ODS 2.4.1 – Proporção da área agrícola sob manejo produtivo e sustentável (Metadata). 2024. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-02-04-01.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Indicador ODS 3.9.1 – Taxa de mortalidade atribuída à poluição do ar domiciliar e ambiental (Metadata). 2023. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-03-09-01.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

PESONEN, J. *et al.* Boreal Forest Fire: UAV-collected wildfire detection and smoke segmentation dataset. Scientific Data, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41597-025-05634-0>. Acesso em: 12 set. 2025.

PIROMAL, Rodrigo Alexandre Sbravatti et al. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. *Acta Amazonica*, 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000100009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009>. Acesso em: 27 mai. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. *Diagnóstico ambiental - Revisão do Plano Diretor*. Ribeirão Preto: PMRP, 2022. Disponível em: <https://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/porta1/pdf/planejamento404202203.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2025.

RAÍZEN. *Relatórios de sustentabilidade*. 2024. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/sustentabilidade>. Acesso em: 12 set. 2025.

RAMOS, L. T. *et al.* A study of YOLO architectures for wildfire and smoke detection in ground and aerial imagery. *Results in Engineering*, v. 26, p. 104869, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123025009454>. Acesso em: 12 set. 2025.

RECORD INTERIOR SP. Defesa Civil usa drones para monitorar locais com risco de incêndios em Ribeirão Preto. *R7*, [São Paulo], 14 jun. 2024. Cidade Alerta. Disponível em: <https://record.r7.com/record-interior-sp/cidade-alerta/defesa-civil-usa-drones-para-monitorar-locais-com-risco-de-incendios-em-ribeirao-preto-14062024/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

REDAÇÃO EXAME ESG. Google lança 'satélite de IA' que promete detectar incêndios florestais em até 20 minutos. *Exame ESG*, São Paulo, 15 maio 2024. Disponível em: <https://exame.com/esg/google-lanca-satelite-de-ia-que-promete-detectar-incendios-florestais-em-ate-20-minutos/>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/310532536/Caminhos-Para-o-Desenvolvimento-Sustentavel-Ignacy-Sachs>. Acesso em: 28 maio 2025.

SILVA, Severic Gleybson da. *Queima e colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais e sociais*. 2023. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/52292/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Severic%20Gleybson%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

SUZANO S.A. Fires in Suzano areas (Indicators 2024). [online]. Disponível em: <https://centraldesustentabilidade.suzano.com.br/en/indicators/2024/CI1>. Acesso em: 12 set. 2025.

ZORATTO, Ana Cristina. *Principais impactos da cana-de-açúcar*. 2006. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/570776263/2-PRINCIPAIS-IMPACTOS-DA-CANA-DE-ACUCAR>. Acesso em: 28 maio 2025.