RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

Monitoramento por câmeras e automação na prevenção de incêndios em canaviais: fundamentos para o desenho de procedimentos operacionais e seus impactos

Camera monitoring and automation in sugarcane field fire prevention: foundations for the design of operational procedures and their impacts

Monitoreo por cámaras y automatización en la prevención de incendios en cañaverales: fundamentos para el diseño de procedimientos operativos y sus impactos

Rafael Dinardi Gonçalves
Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, câmpus de Jaboticabal. Especialista em Manejo de Solos pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getulio Vargas (FGV).

RESUMO

Com a eliminação gradativa da queima pré-colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, o fogo deixou de ser uma prática de manejo e passou a ocorrer como evento não planejado, cuja contenção depende de detecção precoce e resposta rápida. Os incêndios registrados em agosto de 2024, que levaram o estado ao maior número mensal de focos de calor da série histórica do INPE, reforçaram o interesse por sistemas de monitoramento por câmeras e pela automação de alarmes. Este artigo, desenvolvido por meio de revisão narrativa da literatura científica, técnica e normativa, discute os fundamentos que devem orientar o desenho e o uso de procedimentos operacionais apoiados nessas tecnologias, bem como seus impactos. A análise reúne contribuições do sensoriamento remoto, da visão computacional, da ergonomia cognitiva, da engenharia de segurança e da gestão de emergências. Os resultados indicam que o desempenho dos sistemas depende menos da especificação dos equipamentos e mais da definição clara dos níveis de automação, da calibração da confiança dos operadores, do tratamento dos alarmes falsos, da padronização das etapas entre o alarme e o combate e da integração com a gestão de riscos e com as políticas públicas de manejo integrado do fogo. Conclui-se que procedimentos bem estruturados ampliam os benefícios ambientais, sanitários, econômicos e de governança da tecnologia, desde que acompanhados de indicadores e de mecanismos permanentes de aprendizagem.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Incêndios agrícolas; Detecção precoce; Automação; Procedimentos operacionais.

ABSTRACT

With the gradual phase-out of pre-harvest sugarcane burning in the state of São Paulo, Brazil, fire ceased to be a management practice and began to occur as an unplanned event, whose containment depends on early detection and rapid response. The fires recorded in August 2024, which brought the state to the highest monthly number of hotspots in the INPE historical series, increased interest in camera-based monitoring systems and alarm automation. This article, based on a narrative review of scientific, technical and regulatory literature, discusses the foundations that should guide the design and use of operational procedures supported by these technologies, as well as their impacts. The analysis draws on contributions from remote sensing, computer vision, cognitive ergonomics, safety engineering and emergency management. The results indicate that system performance depends less on equipment specifications and more on a clear definition of automation levels, the calibration of operator trust, the handling of false alarms, the standardization of the steps between alarm and suppression, and integration with risk management and public policies on integrated fire management. It is concluded that well-structured procedures enhance the environmental, health, economic and governance benefits of the technology, provided they are supported by indicators and permanent learning mechanisms.

Keywords: Sugarcane; Agricultural fires; Early detection; Automation; Operational procedures.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem grande peso na agricultura paulista e, no início da década de 2010, ocupava cerca de 5 milhões de hectares no estado de São Paulo, o equivalente a 21,3% de seu território (Aguiar et al., 2011). Durante décadas, o fogo fez parte do próprio sistema de produção, empregado para eliminar a palha antes do corte manual e aumentar a produtividade dos cortadores (Saiani; Perosa, 2016). A Lei Estadual nº 11.241/2002 estabeleceu a eliminação gradativa dessa prática, e o Protocolo Agroambiental firmado em 2007 entre o governo paulista e o setor produtivo antecipou os prazos, o que acelerou a mecanização da colheita (São Paulo, 2002; Aguiar et al., 2011). Com a substituição da queima planejada pela colheita de cana crua, o fogo deixou de ser uma ferramenta de manejo e passou a ocorrer como evento não planejado e não autorizado. Essa mudança alterou a natureza do problema, que deixou de ser o controle de uma operação programada e passou a ser a detecção e a resposta a ocorrências imprevisíveis.

Os episódios de agosto de 2024 tornaram evidente a dimensão desse desafio. Dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais indicam que o estado de São Paulo registrou naquele mês o maior número de focos de calor de sua série histórica, iniciada em 1998, e levantamentos do MapBiomas apontaram que as áreas de cana-de-açúcar estiveram entre as mais atingidas (INPE, 2024a; MapBiomas, 2024). Nesse contexto, sistemas de monitoramento por câmeras, centrais de operação e automação de alarmes passaram a ser vistos como respostas tecnológicas promissoras. A literatura sobre fatores humanos e segurança de sistemas mostra, contudo, que a tecnologia isolada não garante desempenho, já que seus efeitos dependem da forma como os procedimentos são concebidos, da maneira como os operadores interagem com a automação e da integração com a estrutura de resposta (Bainbridge, 1983; Parasuraman; Riley, 1997).

Diante disso, este artigo tem como objetivo discutir, à luz da literatura científica, técnica e normativa, os fundamentos que devem orientar o desenho e o uso de procedimentos operacionais apoiados em monitoramento por câmeras e automação para a prevenção e o combate inicial a incêndios em canaviais, bem como os impactos esperados desses procedimentos nas dimensões ambiental, social, econômica e de governança. Busca-se oferecer um referencial teórico que contribua para que os investimentos em tecnologia sejam acompanhados de processos coerentes, mensuráveis e sustentáveis ao longo do tempo, evitando que a aquisição de equipamentos seja confundida com a solução do problema.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.
Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa e caráter exploratório, conduzida por meio de revisão narrativa da literatura. A opção por essa abordagem se justifica pela natureza interdisciplinar do tema, que envolve sensoriamento remoto, visão computacional, ergonomia cognitiva, engenharia de segurança, gestão de emergências, saúde ambiental e políticas públicas. Diferentemente da revisão sistemática, cujo foco é responder a uma pergunta delimitada a partir de um protocolo rígido de seleção e extração de dados, a revisão narrativa permite articular referenciais de campos distintos e construir uma síntese teórica voltada à compreensão de um problema aplicado, o que corresponde ao propósito deste estudo.

As buscas foram realizadas em mecanismos de pesquisa acadêmica e em portais de periódicos e editoras, como SciELO, PubMed Central, MDPI, SpringerLink e CSIRO Publishing, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras, com atenção especial a periódicos especializados em incêndios em vegetação, como Fire Safety Journal, International Journal of Wildland Fire e Current Forestry Reports. Os termos de busca combinaram, em português e em inglês, termos relacionados a detecção de incêndios, câmeras, visão computacional, automação, confiança em sistemas automatizados, alarmes falsos, ataque inicial, gestão de riscos, cana-de-açúcar e queima de palha. Também foram analisados documentos normativos e técnicos, entre eles a legislação federal e paulista sobre uso do fogo e manejo integrado, a doutrina do sistema de comando de incidentes adotada nos Estados Unidos, a norma ABNT NBR ISO 31000 e os boletins do Programa Queimadas do INPE.

A seleção privilegiou estudos revisados por pares, documentos oficiais e obras de referência amplamente citadas em seus campos, sem restrição rígida de período, uma vez que parte dos fundamentos teóricos sobre automação e erro humano foi formulada nas décadas de 1980 e 1990 e permanece atual. Os dados quantitativos apresentados foram extraídos de fontes públicas, como o INPE, o MapBiomas e os relatórios do Protocolo Agroambiental, e utilizados apenas para contextualizar o problema. A análise foi organizada em seis eixos temáticos, que estruturam as seções seguintes e partem do contexto do fogo nos canaviais até os impactos dos procedimentos operacionais. Por se tratar de revisão, o estudo não testa hipóteses empiricamente, e suas conclusões devem ser entendidas como proposições teóricas a serem verificadas em pesquisas de campo.

3 O FOGO NOS CANAVIAIS APÓS O FIM DA QUEIMA PRÉ-COLHEITA

A queima da palha antes da colheita manual foi, por muito tempo, prática corrente na cana-de-açúcar

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

brasileira, por facilitar o corte e aumentar o rendimento dos trabalhadores (Saiani; Perosa, 2016). O Decreto Federal nº 2.661/1998 regulamentou o emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais por meio da queima controlada, e no estado de São Paulo a Lei nº 11.241/2002 fixou um cronograma de eliminação gradativa, com prazos distintos para áreas mecanizáveis e não mecanizáveis (Brasil, 1998; São Paulo, 2002). O Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético, assinado em 2007, antecipou esses prazos para as unidades signatárias, e o monitoramento por imagens de satélite conduzido por pesquisadores do INPE mostrou aumento expressivo da colheita sem queima nos anos seguintes, sobretudo nas áreas de expansão da cultura (Aguiar et al., 2011). Em 2006, cerca de 34,7% da área mecanizável colhida no estado não teve queima, segundo mapeamento com imagens do satélite Landsat (Aguiar et al., 2009), e, de acordo com os relatórios do Protocolo, a colheita sem queima entre os signatários alcançou 72,6% na safra 2012/2013, 83,7% na safra 2013/2014 e 91,3% na safra 2015/2016 (São Paulo, 2014, 2016).

A eliminação da queima respondeu a preocupações ambientais e sanitárias bem documentadas. Cançado et al. (2006), ao analisar quase um ano de dados em Piracicaba, verificaram que aumentos nas concentrações de material particulado associados à queima da cana estavam relacionados a elevações nas internações por doenças respiratórias de crianças e idosos, com efeitos mais intensos no período de queima. Ribeiro (2008), em revisão dos estudos publicados entre 1996 e 2006, concluiu que idosos, crianças e asmáticos estão entre os grupos mais afetados, o que gera demanda adicional sobre os serviços de saúde. Arbex et al. (2004) já haviam reunido evidências sobre os efeitos da queima de biomassa no sistema respiratório, e Saiani e Perosa (2016) encontraram, em análise de dados em painel dos municípios paulistas, relação entre o avanço da mecanização e a redução de internações respiratórias, especialmente entre idosos. Esses resultados indicam que o fogo em canaviais, mesmo quando acidental, não representa apenas perda produtiva, mas também um problema de saúde pública.

Com o fim da queima planejada, o fogo nos canaviais muda de natureza. Antes havia uma operação sujeita a autorização e planejamento prévios (Brasil, 1998), enquanto agora a ocorrência é, por definição, não programada e pode se iniciar fora do controle do produtor. A colheita de cana crua mantém sobre o solo uma camada de palha cujos benefícios agronômicos para a conservação do solo, a ciclagem de nutrientes e a retenção de umidade são amplamente discutidos na literatura (Carvalho et al., 2017). Do ponto de vista do risco de incêndio, entretanto, essa camada constitui material combustível contínuo, cuja inflamabilidade depende do teor de umidade, da carga e do arranjo, variáveis que os modelos clássicos de propagação, como o proposto por Rothermel (1972), identificam como determinantes da velocidade de avanço das chamas. A gestão do fogo passa, assim, a exigir vigilância durante toda a estação seca e não apenas no período de colheita.

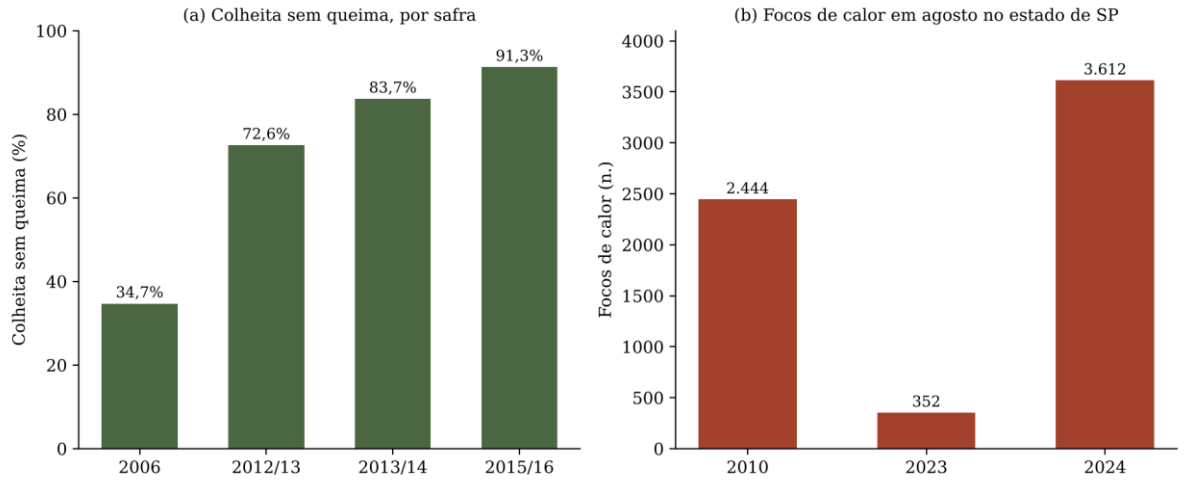
Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

Os eventos de 2024 ilustram a escala que esse risco pode assumir. De acordo com o banco de dados do Programa Queimadas, o estado de São Paulo registrou 3.612 focos de calor em agosto daquele ano pelo satélite de referência, o maior valor mensal desde o início da série histórica, contra 352 focos no mesmo mês de 2023 e 2.444 em agosto de 2010, até então o agosto mais crítico da série (INPE, 2024a). O Monitor do Fogo do MapBiomas estimou que cerca de 430 mil hectares queimaram no estado entre janeiro e agosto de 2024, com 86% da área queimada concentrada em agosto e predominância de áreas agropecuárias, especialmente canaviais, que somaram aproximadamente 236 mil hectares atingidos no período (MapBiomas, 2024). A Figura 1 sintetiza essa trajetória, ao contrapor o avanço da colheita sem queima ao comportamento recente dos focos de calor no estado, e sugere que a redução do fogo planejado não foi acompanhada de redução proporcional do risco.

Figura 1 – Colheita de cana sem queima no estado de São Paulo (a) e focos de calor registrados em agosto no estado pelo satélite de referência (b)



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Aguiar et al. (2009), São Paulo (2014, 2016) e INPE (2024a). Nota: o valor de 2006 refere-se à área mecanizável colhida no estado, e os demais, às unidades signatárias do Protocolo Agroambiental.

A comparação sugere uma leitura importante para a gestão. A redução da queima planejada não eliminou o risco de incêndios nos canaviais, mas o deslocou para outra categoria, em que a combinação entre clima extremo, material combustível acumulado e fontes de ignição dispersas pode produzir eventos simultâneos e de grande extensão. Em situações desse tipo, a capacidade de detectar rapidamente o início do fogo e de acionar a resposta adequada torna-se um dos fatores sob controle direto do produtor, uma vez que o tempo de resposta e o tamanho do fogo no início do combate influenciam a probabilidade de sucesso do ataque inicial (Arienti; Cumming; Boutin, 2006). É nesse ponto que o monitoramento por câmeras e a automação ganham relevância, desde que acompanhados de procedimentos capazes de transformar informação em ação efetiva, o que constitui o objeto das

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

seções seguintes.

4 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DA DETECÇÃO PRECOCE

A detecção de incêndios em áreas abertas pode ser realizada por diferentes meios, cada um com alcance, resolução e limitações próprias. Alkhatib (2014), em revisão das técnicas disponíveis, agrupa as soluções em observação humana, sistemas baseados em satélites, câmeras ópticas e redes de sensores sem fio, e destaca que nenhuma delas é superior em todos os critérios, o que torna comum a combinação de métodos. Barmpoutis et al. (2020) organizam os sistemas de sensoriamento óptico em terrestres, aéreos e orbitais e mostram que a escolha depende do compromisso entre área coberta, frequência de observação, tamanho mínimo de fogo detectável e custo. Para a gestão de canaviais, essa distinção é relevante porque cada camada de detecção responde a uma pergunta diferente sobre o fogo, seja a existência de um foco em determinada região, sua localização precisa ou sua evolução ao longo do tempo.

Os sistemas orbitais oferecem cobertura ampla e padronizada. O algoritmo contextual desenvolvido para o sensor MODIS identifica pixels com anomalias térmicas em relação à vizinhança e se tornou referência para o monitoramento global de fogo ativo (Giglio et al., 2003). O produto de 375 metros do sensor VIIRS ampliou a capacidade de detectar focos menores em comparação com produtos de resolução mais grosseira (Schroeder et al., 2014). No Brasil, o Programa Queimadas do INPE processa diariamente cerca de duzentas imagens recebidas de onze satélites diferentes e adota um satélite de referência para garantir comparações temporais consistentes (INPE, 2024b). A limitação dessas plataformas para a resposta operacional está na frequência de passagem, na resolução espacial e na interferência de nuvens e fumaça, o que torna o dado orbital mais útil para a vigilância regional e a análise histórica do que para o acionamento imediato de equipes em um talhão específico.

As câmeras instaladas em torres preenchem parte dessa lacuna ao permitir observação contínua de uma área definida. Barmpoutis et al. (2020) descrevem sistemas terrestres compostos por câmeras fixas, câmeras com controle de giro e aproximação ou câmeras de visão panorâmica, equipadas com sensores no espectro visível, no infravermelho ou em ambos, e ressaltam que o posicionamento precisa assegurar visibilidade adequada do terreno. Os algoritmos de detecção em vídeo combinam características de cor, movimento, textura e variação temporal das chamas e da fumaça (Çetin et al., 2013). Em incêndios em vegetação, a fumaça tende a se tornar visível antes das chamas, razão pela qual sua detecção recebe destaque nas aplicações de vigilância (Çetin et al., 2013). Nos canaviais, a legislação paulista considera mecanizáveis as áreas com declividade de até 12% (São Paulo, 2002), condição de relevo que tende a favorecer visadas de longo alcance, embora a extensão das lavouras

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

exija redes com várias torres para cobertura contínua.

O avanço das redes neurais convolucionais trouxe ganhos de desempenho aos sistemas de detecção em vídeo. Muhammad et al. (2018) propuseram uma arquitetura de rede neural convolucional de custo computacional reduzido para detectar fogo em vídeos de câmeras de vigilância e relataram, em bases de dados de referência, desempenho superior ao de métodos do estado da arte. Barmpoutis et al. (2020) observam, no entanto, que os alarmes falsos permanecem entre as limitações dos sistemas ópticos terrestres, o que levou diversos pesquisadores a empregar câmeras no infravermelho para reduzi-los. No ambiente agrícola, é plausível que a poeira levantada por máquinas, a fumaça de caldeiras e a própria atividade de colheita produzam padrões visuais semelhantes aos de um incêndio inicial, hipótese que reforça a necessidade de calibrar os sistemas para as condições locais e de prever etapas de confirmação nos procedimentos operacionais.

Evidências de campo reforçam a necessidade de cautela quanto ao desempenho esperado dessas tecnologias. Matthews et al. (2012) avaliaram dois sistemas de detecção baseados em imagens em condições operacionais no sudeste da Austrália, em áreas de floresta e de pastagem. Os sistemas detectaram e localizaram os incêndios e tiveram bom desempenho para fogos maiores, mas apresentaram resultados fracos para fogos pequenos situados a distâncias moderadas, entre 10 e 20 quilômetros. Em um subconjunto de ocorrências comparadas com a atuação de um observador humano, este obteve maior taxa de detecção e menor tempo de comunicação, e os autores concluíram que a detecção por imagem pode funcionar como complemento útil aos métodos existentes. Para os canaviais, a lição é que o desempenho real depende do tamanho do foco, da distância, das condições atmosféricas e da integração com outras fontes de informação, e não apenas da especificação técnica do equipamento.

5 AUTOMAÇÃO E O PAPEL DO OPERADOR HUMANO

A introdução de câmeras inteligentes em uma central de operações não elimina o operador humano, mas redefine seu papel. Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) propuseram um modelo em que a automação pode atuar em quatro funções, a aquisição de informação, a análise da informação, a seleção de decisões e a implementação de ações, cada uma com níveis variáveis de autonomia. Aplicado ao monitoramento de canaviais, o modelo ajuda a separar o que se espera da tecnologia em cada etapa. A câmera e o algoritmo podem adquirir e analisar imagens com alto grau de automação, enquanto a decisão de mobilizar brigadas, caminhões-pipa ou apoio externo pode permanecer com o operador ou com a liderança de campo. Definir explicitamente esses níveis é o primeiro passo para desenhar procedimentos coerentes, porque evita lacunas de responsabilidade e sobreposições que

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

atrasam a resposta.

Bainbridge (1983) descreveu as chamadas ironias da automação ao observar que, quanto mais um sistema é automatizado, mais o operador fica encarregado justamente das tarefas difíceis, como monitorar por longos períodos eventos raros e assumir o controle em situações anormais. A autora apontou que a vigilância prolongada de sistemas que raramente apresentam ocorrências é uma tarefa para a qual o ser humano tem desempenho limitado, e que a perda de prática reduz a capacidade de intervenção quando ela se torna necessária. Em uma central que acompanha dezenas de câmeras durante meses de estação seca, com a maior parte das horas sem eventos relevantes, esse paradoxo se manifesta de forma concreta. Os procedimentos precisam, portanto, prever rodízio de postos, pausas, exercícios simulados e mecanismos de manutenção da atenção, e não apenas instruções sobre o que fazer quando o alarme soar.

Parasuraman e Riley (1997) distinguiram quatro formas de relação com a automação, que são o uso adequado, o mau uso, caracterizado pela confiança excessiva, o desuso, que ocorre quando o operador ignora ou desliga o sistema, e o abuso, quando a automação é implantada sem considerar suas consequências para o desempenho humano. Lee e See (2004) argumentam que o objetivo não é maximizar a confiança na automação, mas calibrá-la, de modo que ela corresponda à real capacidade do sistema em cada contexto. No monitoramento de incêndios, a confiança excessiva leva o operador a deixar de inspecionar visualmente as áreas em que o algoritmo não emitiu alerta, enquanto a desconfiança leva ao descarte de alarmes verdadeiros. Ambos os desvios têm custo, e a calibração depende de informação transparente sobre as taxas de acerto e de erro do sistema nas diferentes condições de operação.

A questão dos alarmes falsos merece atenção particular. Breznitz (1984) analisou o fenômeno conhecido como efeito do alarme falso, em que alertas repetidamente infundados reduzem a credibilidade dos alertas seguintes. Dixon, Wickens e McCarley (2007) mostraram experimentalmente que uma automação propensa a alarmes falsos prejudicou o desempenho global mais do que uma automação propensa a omissões e afetou tanto a disposição do operador em seguir os alertas quanto sua confiança no sistema quando este permanecia silencioso. Para centrais de monitoramento agrícola, onde poeira, fumaça industrial e atividades de manejo podem gerar estímulos semelhantes ao fogo, essa evidência implica que a sensibilidade do algoritmo não pode ser ajustada apenas com o propósito de não perder nenhum foco. O limiar de alarme deve considerar o custo de cada tipo de erro, e os procedimentos devem prever uma etapa rápida e padronizada de verificação.

Endsley (1995) definiu a consciência situacional em três níveis, que correspondem à percepção dos elementos do ambiente, à compreensão de seu significado e à projeção de seu estado futuro. Um

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

alarme de câmera atende, no máximo, ao primeiro nível. Para que o operador compreenda o que está acontecendo e projete a evolução do fogo, ele precisa de informações complementares, como direção e intensidade do vento, umidade relativa do ar, estágio da cana e condição da palhada, proximidade de áreas sensíveis e localização das equipes disponíveis. A integração dessas camadas em uma mesma interface, com mapas georreferenciados e indicadores meteorológicos, é o que diferencia uma central capaz de apoiar decisões de uma simples sala de vídeo. O desenho do procedimento deve partir das decisões que o operador precisa tomar e só depois definir quais dados devem ser apresentados e em que formato.

6 DESENHO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DO ALARME À RESPOSTA

A eficácia da detecção só se converte em redução de danos quando é seguida de resposta rápida e adequada. A literatura sobre incêndios em vegetação trata essa etapa como ataque inicial, e Arienti, Cumming e Boutin (2006) diferenciam a falha de resposta, quando o combate não começa antes de determinado limite de tempo ou de tamanho do fogo, da falha de contenção, quando a equipe chega ao local mas não consegue controlar o incêndio. Os autores identificaram que combustíveis, condições meteorológicas, presença de estradas e variáveis de gestão influenciam a probabilidade de sucesso. Essa distinção é útil para os canaviais porque mostra que reduzir o tempo de detecção é necessário, mas insuficiente, se o tempo de deslocamento das equipes, a disponibilidade de água e a acessibilidade dos talhões não forem tratados no mesmo procedimento.

Plucinski (2019) mostra que a efetividade da supressão pode ser avaliada em diferentes escalas, desde as chamas e a linha de fogo até o incidente completo e a paisagem, e que cada escala exige indicadores próprios. Essa perspectiva ajuda a estruturar o procedimento em etapas mensuráveis. Propõe-se, neste estudo, que a sequência inclua a detecção do sinal, a verificação pelo operador, a classificação da ocorrência, o despacho de recursos, a chegada da primeira equipe, o início do combate, a contenção e o rescaldo. Cada transição pode ser registrada com horário e responsável, o que permite identificar onde o tempo é perdido e onde a decisão falha. Sem esse registro, a organização sabe apenas se o fogo foi controlado ou não, mas não compreende por quê, e perde a principal fonte de aprendizado para as safras seguintes.

A padronização da resposta encontra referência no Sistema de Comando de Incidentes, incorporado ao National Incident Management System norte-americano. O documento estabelece princípios como terminologia comum, organização modular, cadeia de comando definida, amplitude de controle gerenciável e comando unificado quando várias instituições atuam em conjunto (FEMA, 2017). Ainda que concebido para emergências de maior escala, esse referencial oferece uma lógica aplicável

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

às operações agrícolas, sobretudo quando um incêndio ultrapassa os limites da propriedade e passa a envolver vizinhos, corpo de bombeiros, defesa civil e concessionárias de rodovias. Procedimentos internos que já adotam papéis claros, linguagem padronizada e critérios de escalonamento facilitam a integração com os órgãos públicos e evitam que a coordenação seja improvisada justamente no momento mais crítico da ocorrência.

Um aspecto central do desenho é a definição de critérios de classificação e escalonamento. Martell (2015) analisa a gestão do fogo sob a perspectiva da cadeia de suprimentos e revisa sistemas de apoio à decisão baseados em pesquisa operacional voltados ao planejamento e à alocação de recursos de supressão. Em termos práticos, propõe-se que o procedimento indique, para cada combinação de risco meteorológico, localização e porte inicial do foco, qual recurso deve ser acionado e em que prazo. Hollnagel (2014) alerta, porém, que existe diferença entre o trabalho como imaginado pelos projetistas e o trabalho como de fato realizado, e que a variabilidade de desempenho das pessoas também é fonte de adaptação bem-sucedida. Por isso, os critérios devem ser claros o suficiente para orientar decisões rápidas, mas não tão rígidos a ponto de impedir ajustes diante de situações não previstas.

Procedimentos operacionais também precisam de mecanismos permanentes de revisão. Leveson (2011) propõe compreender a segurança como um problema de controle, no qual os acidentes resultam de restrições inadequadas ou não aplicadas ao comportamento do sistema, e não apenas de falhas de componentes. Sob essa ótica, cada ocorrência de incêndio, inclusive os alarmes falsos e os quase acidentes, revela algo sobre a adequação das restrições e dos laços de realimentação existentes. A análise sistemática dessas ocorrências, aliada a simulados periódicos realizados antes do início da estação seca, permite atualizar rotas de acesso, pontos de captação de água, listas de contatos e atribuições de responsabilidade. Um procedimento que não é exercitado tende a se distanciar da realidade operacional e a perder credibilidade junto às equipes que deveriam aplicá-lo.

7 INTEGRAÇÃO COM A GESTÃO DE RISCOS E A PREVENÇÃO

A detecção e a resposta são apenas parte de uma estratégia mais ampla de gestão do risco de incêndio. A norma ABNT NBR ISO 31000 descreve um processo que envolve o estabelecimento do contexto, a identificação, a análise, a avaliação e o tratamento dos riscos, acompanhado de monitoramento, análise crítica, comunicação e consulta contínuos (ABNT, 2018). Aplicada aos canaviais, essa estrutura permite mapear fontes de ignição, como rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, áreas urbanas e operações mecanizadas, e cruzá-las com a vulnerabilidade dos talhões e com a importância dos ativos expostos. O resultado orienta tanto a localização das câmeras quanto as medidas

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

preventivas, como a construção e a manutenção de aceiros e carreadores e a restrição de atividades de maior risco em dias críticos.

O risco de incêndio varia diariamente em função das condições meteorológicas, e esse comportamento pode ser incorporado aos procedimentos por meio de índices de perigo. O sistema canadense de índice meteorológico de perigo de incêndio, descrito por Van Wagner (1987), utiliza temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação para estimar a umidade dos combustíveis e o comportamento potencial do fogo. Índices desse tipo, adaptados às condições locais, podem definir níveis de prontidão que alteram a intensidade do monitoramento, a disponibilidade de equipes e a restrição de operações. Dessa forma, o procedimento deixa de ser estático e passa a responder ao risco do dia, concentrando recursos quando a probabilidade de ignição e de propagação é maior, sem manter a operação em alerta máximo durante toda a temporada.

Reason (1997) mostrou que os acidentes organizacionais raramente resultam de uma única falha e decorrem, em geral, do alinhamento de fragilidades em várias barreiras de defesa, muitas delas latentes e originadas em decisões gerenciais distantes do evento. No contexto dos incêndios em canaviais, câmeras, aceiros, brigadas, caminhões-pipa e protocolos de comunicação constituem camadas sucessivas de defesa, e a eficácia do conjunto depende de que nenhuma delas seja negligenciada em razão da confiança depositada nas demais. Rasmussen (1997) acrescenta que, sob pressão por eficiência e por redução da carga de trabalho, as organizações tendem a migrar gradualmente em direção aos limites do desempenho seguro. À luz desse modelo, a introdução de tecnologia de monitoramento poderia, paradoxalmente, alimentar essa migração, caso fosse usada como justificativa para reduzir a manutenção de aceiros ou o efetivo das brigadas.

O ambiente regulatório também reforça a necessidade de integração. A Lei Federal nº 14.944/2024 instituiu a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, com instrumentos como os planos de manejo integrado do fogo, os programas de brigadas e o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo, e estabeleceu como princípio a responsabilidade comum dos entes federativos em articulação com a sociedade civil e com os setores produtivos (Brasil, 2024). No estado de São Paulo, a Lei nº 17.460/2021 já havia instituído a política estadual sobre o tema (São Paulo, 2021). Ao definir o manejo integrado do fogo como modelo de planejamento e gestão, esse arcabouço desloca a gestão do fogo de uma lógica exclusivamente reativa para uma lógica de planejamento, na qual prevenção, preparação, resposta e recuperação são tratadas de forma articulada. Procedimentos empresariais alinhados a esse modelo podem facilitar a cooperação com os órgãos públicos, em consonância com a diretriz de gestão participativa e compartilhada prevista na lei, que inclui a iniciativa privada (Brasil, 2024).

A prevenção em canaviais tem, ainda, uma dimensão territorial que ultrapassa os limites de cada

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

propriedade. Entre 22 e 24 de agosto de 2024, o estado registrou 2.621 focos de calor, distribuídos por diferentes regiões (INPE, 2024a), situação em que dificilmente uma estrutura individual conseguiria responder a todas as ocorrências ao mesmo tempo. O compartilhamento de imagens e alertas entre usinas vizinhas, fornecedores de cana, municípios e corpo de bombeiros pode ampliar a cobertura efetiva e reduzir redundâncias. Para que isso funcione, os procedimentos precisam prever protocolos de comunicação, responsabilidades em áreas de divisa e regras para o uso compartilhado de recursos, temas que dependem tanto de acordos institucionais quanto de soluções tecnológicas compatíveis entre si.

8 IMPACTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS, ECONÔMICOS E DE GOVERNANÇA

Procedimentos bem desenhados de detecção e resposta produzem impactos que vão além da proteção da lavoura. No campo ambiental, a contenção de incêndios em estágio inicial reduz a área queimada e, consequentemente, as emissões de gases e partículas, a perda de matéria orgânica superficial e os danos a fragmentos de vegetação nativa, áreas de preservação permanente e reservas legais que podem estar intercalados aos canaviais. A palhada preservada continua a desempenhar as funções de proteção do solo e de ciclagem de nutrientes discutidas por Carvalho et al. (2017). Além disso, a redução da recorrência do fogo em uma mesma área tende a beneficiar a conservação desses fragmentos e da biodiversidade a eles associada.

No campo da saúde e da sociedade, os estudos realizados no interior paulista permitem dimensionar a relevância da prevenção. Se a fumaça da queima planejada esteve associada ao aumento de internações respiratórias de crianças e idosos (Cançado et al., 2006; Ribeiro, 2008), é razoável supor que incêndios acidentais de grande extensão produzam efeitos semelhantes sobre as populações expostas, com o agravante de ocorrerem sem aviso prévio e, muitas vezes, em períodos de baixa umidade do ar. A redução da área queimada por meio de detecção e resposta rápidas contribui, portanto, para proteger a saúde das comunidades vizinhas e dos próprios trabalhadores. Como observa Ribeiro (2008), esses efeitos também se traduzem em demanda adicional sobre os serviços de saúde, o que amplia o alcance social do problema para além dos limites das propriedades.

Do ponto de vista econômico, os procedimentos precisam ser avaliados com base em uma visão ampla de custos e benefícios. Os custos incluem câmeras, torres, conectividade, softwares, equipe de monitoramento, manutenção e treinamento. Os benefícios envolvem a redução de perdas de cana, de danos à soqueira e à infraestrutura, de custos de combate e de passivos ambientais e legais, além da preservação do relacionamento com comunidades e órgãos públicos. A literatura sobre ataque inicial indica que os incêndios que escapam a essa fase tendem a crescer e a exigir mais recursos, e que

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

tempos de resposta mais longos aumentam a probabilidade de falha (Arienti; Cumming; Boutin, 2006). A mensuração desses benefícios exige, contudo, séries históricas confiáveis de ocorrências, tempos de resposta e áreas atingidas, o que remete novamente à importância do registro sistemático de cada etapa do procedimento.

A ampliação do monitoramento por câmeras traz também questões de governança de dados. Câmeras de longo alcance instaladas nas proximidades de rodovias, vilas e áreas urbanas podem captar imagens de pessoas e veículos, o que exige observância da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, que estabelece princípios como finalidade, adequação, necessidade, transparência e segurança no tratamento de dados (Brasil, 2018). Os procedimentos devem definir quem acessa as imagens, por quanto tempo elas são armazenadas, em quais situações podem ser compartilhadas com autoridades e de que forma são protegidas contra acessos indevidos. Por outro lado, registros bem gerenciados podem apoiar investigações sobre a origem dos incêndios e fortalecer a posição da empresa em processos administrativos ou judiciais, desde que a integridade e a rastreabilidade das imagens sejam preservadas.

Os impactos dos procedimentos só podem ser demonstrados se houver indicadores adequados. Plucinski (2019) destaca a dificuldade de medir a efetividade da supressão, em razão da influência simultânea de múltiplas variáveis, e mostra que os resultados dependem da escala em que são avaliados. Para os canaviais, indicadores como o tempo entre a ignição estimada e a detecção, o tempo entre a detecção e o despacho, o tempo até a chegada da primeira equipe, a proporção de incêndios contidos no ataque inicial, a área média por ocorrência e a taxa de alarmes falsos permitem acompanhar o desempenho ao longo das safras. Associados à análise das ocorrências e à revisão periódica dos procedimentos, esses indicadores transformam o monitoramento em instrumento de aprendizagem organizacional, e não apenas em ferramenta de vigilância.

CONCLUSÃO

A eliminação da queima pré-colheita representou um avanço ambiental e sanitário relevante para o setor sucroenergético paulista, mas não eliminou o fogo dos canaviais. O que mudou foi a natureza do risco, que passou de uma operação planejada e controlada para eventos inesperados, de origem diversa e potencialmente simultâneos. Nessa nova condição, a capacidade de detectar cedo e de responder com rapidez tornou-se um fator decisivo ao alcance da gestão, como demonstraram os episódios de 2024 no estado de São Paulo.

A revisão mostrou que as tecnologias de detecção são complementares e que nenhuma delas resolve o problema isoladamente. Os satélites oferecem visão regional e histórica, enquanto as câmeras em

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

torres permitem observação contínua de áreas específicas. As evidências de campo indicam, porém, que o desempenho real das câmeras varia com o tamanho do foco, a distância e as condições atmosféricas, o que recomenda tratá-las como parte de um sistema mais amplo, e não como solução autossuficiente.

A automação redefine o trabalho do operador, sem eliminá-lo. Os fundamentos da ergonomia cognitiva mostram que a vigilância prolongada de eventos raros é uma tarefa difícil para o ser humano e que a confiança na automação precisa ser calibrada, e não maximizada. Por isso, procedimentos eficazes começam pela definição explícita do que cabe à máquina e do que cabe às pessoas em cada etapa, desde a aquisição da imagem até a decisão de mobilizar recursos de combate.

Os alarmes falsos constituem um ponto crítico para a sustentabilidade desses sistemas. Quando frequentes, eles reduzem a credibilidade dos alertas e comprometem a resposta aos eventos verdadeiros. A definição dos limiares de alarme deve considerar o custo de cada tipo de erro, e os procedimentos devem incluir uma etapa de verificação rápida e padronizada, especialmente em ambientes agrícolas nos quais poeira, fumaça industrial e operações mecanizadas produzem sinais semelhantes aos de um incêndio inicial.

O desenho do procedimento deve cobrir toda a cadeia entre o alarme e o controle do fogo, com etapas mensuráveis, responsáveis definidos e critérios claros de classificação e escalonamento. Referenciais como o sistema de comando de incidentes oferecem princípios úteis de padronização e integração com órgãos públicos. Ao mesmo tempo, os critérios precisam deixar espaço para o julgamento das equipes diante de situações não previstas, já que o trabalho real raramente coincide por completo com o trabalho prescrito.

A tecnologia de monitoramento deve ser integrada à gestão de riscos, aos índices de perigo meteorológico e às demais barreiras de defesa, como aceiros, brigadas e recursos de combate. Há o risco de que a adoção de câmeras seja usada para justificar a redução dessas outras camadas, o que contraria os fundamentos da segurança de sistemas e pode aumentar a vulnerabilidade da operação. A Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo reforça essa visão integrada ao valorizar o planejamento, a prevenção e a cooperação entre os diversos atores.

Os impactos de procedimentos bem estruturados alcançam diversas dimensões. No plano ambiental, tendem a reduzir a área queimada e as emissões. No plano social, contribuem para proteger a saúde das populações vizinhas e para conter a demanda sobre os serviços de saúde. No plano econômico, diminuem perdas e passivos, e no plano da governança exigem atenção ao tratamento de dados pessoais captados pelas câmeras. Em todos esses casos, a comprovação dos benefícios depende da existência de indicadores consistentes e de registros sistemáticos de cada ocorrência.

Por se tratar de revisão narrativa, este estudo apresenta limitações, entre elas a ausência de verificação

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

empírica das proposições e a predominância de evidências produzidas em contextos florestais de outros países. Recomenda-se que pesquisas futuras avaliem, em canaviais brasileiros, o desempenho de diferentes sistemas de detecção, os tempos efetivos de cada etapa da resposta, as taxas de alarmes falsos em condições reais e a relação entre custo e benefício dos investimentos, de modo a consolidar uma base de evidências própria para o setor.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 440-451, 2009. DOI: 10.1590/S0100-69162009000300011.

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, Basel, v. 3, n. 12, p. 2682-2703, 2011. DOI: 10.3390/rs3122682.

ALKHATIB, A. A. A. A review on forest fire detection techniques. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 10, n. 3, art. 597368, 2014. DOI: 10.1155/2014/597368.

ARBEX, M. A. et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004.

ARIENTI, M. C.; CUMMING, S. G.; BOUTIN, S. Empirical models of forest fire initial attack success probabilities: the effects of fuels, anthropogenic linear features, fire weather, and management. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 36, n. 12, p. 3155-3166, 2006. DOI: 10.1139/x06-188.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 31000**: gestão de riscos: diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BAINBRIDGE, L. Ironies of automation. **Automatica**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 775-779, 1983.

BARMPOUTIS, P.; PAPAIOANNOU, P.; DIMITROPOULOS, K.; GRAMMALIDIS, N. A review on early forest fire detection systems using optical remote sensing. **Sensors**, Basel, v. 20, n. 22, art. 6442, 2020. DOI: 10.3390/s20226442.

BRASIL. Decreto nº 2.661, de 8 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm.

BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1 ago. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14944.htm.

BREZNITZ, S. **Cry wolf**: the psychology of false alarms. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1984.

CANÇADO, J. E. D. et al. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006. DOI: 10.1289/ehp.8485.

CARVALHO, J. L. N. et al. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **GCB Bioenergy**, v. 9, n. 7, p. 1181-1195, 2017.

ÇETIN, A. E. et al. Video fire detection: review. **Digital Signal Processing**, v. 23, n. 6, p. 1827-1843, 2013.

DIXON, S. R.; WICKENS, C. D.; McCARLEY, J. S. On the independence of compliance and reliance: are automation false alarms worse than misses? **Human Factors**, v. 49, n. 4, p. 564-572, 2007. DOI: 10.1518/001872007X215656.

ENDSLEY, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. **Human Factors**, v. 37, n. 1, p. 32-64, 1995.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **National Incident Management System**. 3. ed. Washington, DC: FEMA, 2017.

GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, C. O.; KAUFMAN, Y. J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 2-3, p. 273-282, 2003.

HOLLNAGEL, E. **Safety-I and Safety-II**: the past and future of safety management. Farnham: Ashgate, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Programa Queimadas**: banco de dados de queimadas (BDQueimadas). São José dos Campos: INPE, 2024a. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Infoqueima**: boletim técnico mensal de monitoramento de focos de fogo. São José dos Campos, v. 9, n. 8, ago. 2024b. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Infoqueima/2024/2024_08_infoqueima.pdf.

LEE, J. D.; SEE, K. A. Trust in automation: designing for appropriate reliance. **Human Factors**, v. 46, n. 1, p. 50-80, 2004.

LEVESON, N. G. **Engineering a safer world**: systems thinking applied to safety. Cambridge, MA: MIT Press, 2011.

MAPBIOMAS. **Monitor do Fogo**: dados mensais de área queimada no Brasil. São Paulo:

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

MapBiomas, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/dados-monitor-mensal-do-fogo/.

MARTELL, D. L. A review of recent forest and wildland fire management decision support systems research. **Current Forestry Reports**, v. 1, n. 2, p. 128-137, 2015. DOI: 10.1007/s40725-015-0011-y.

MATTHEWS, S.; SULLIVAN, A.; GOULD, J. S.; HURLEY, R. J.; ELLIS, P.; LARMOUR, J. Field evaluation of two image-based wildland fire detection systems. **Fire Safety Journal**, v. 47, p. 54-61, 2012. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.11.001.

MUHAMMAD, K.; AHMAD, J.; MEHMOOD, I.; RHO, S.; BAIK, S. W. Convolutional neural networks based fire detection in surveillance videos. **IEEE Access**, v. 6, p. 18174-18183, 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2812835.

PARASURAMAN, R.; RILEY, V. Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse. **Human Factors**, v. 39, n. 2, p. 230-253, 1997.

PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T. B.; WICKENS, C. D. A model for types and levels of human interaction with automation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans**, v. 30, n. 3, p. 286-297, 2000.

PLUCINSKI, M. P. Fighting flames and forging firelines: wildfire suppression effectiveness at the fire edge. **Current Forestry Reports**, v. 5, n. 1, p. 1-19, 2019. DOI: 10.1007/s40725-019-00084-5.

RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2-3, p. 183-213, 1997.

REASON, J. **Managing the risks of organizational accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2008.

ROTHERMEL, R. C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. Ogden: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. (Research Paper INT-115).

SAIANI, C. C. S.; PEROSA, B. B. Saúde respiratória e mecanização da colheita da cana-de-açúcar nos municípios paulistas: a importância do Protocolo Agroambiental. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 29-50, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2002. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético**: dados consolidados das safras 2007/08 a 2013/14. São Paulo: SMA, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético**: 26,3% da área agricultável de São Paulo está comprometida com boas práticas.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.2 2026 | submissão: 12/05/2026 | aceito: 19/06/2026 | publicação: 09/07/2026

São Paulo: SMA, 2016. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/04/protocolo-agroambiental-do-setor-sucroenergetico-263-da-area-agricultavel-de-sao-paulo-esta-comprometida-com-boas-praticas/.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 17.460, de 25 de novembro de 2021. Institui a Política Estadual de Manejo Integrado do Fogo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2021/lei-17460-25.11.2021.html.

SCHROEDER, W.; OLIVA, P.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I. A. The New VIIRS 375 m active fire detection data product: algorithm description and initial assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 143, p. 85-96, 2014.

VAN WAGNER, C. E. **Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System**. Ottawa: Canadian Forestry Service, 1987. (Forestry Technical Report, 35).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.