

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

ENGENHARIA FLORESTAL

**MONITORAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA
DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

THIAGO RUAS SOUTO

Thiago Ruas Souto

**MONITORAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA DETECÇÃO
DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

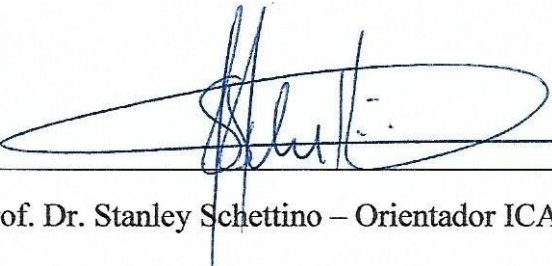
Orientador: Prof. Dr. Stanley Schettino

Thiago Ruas Souto. MONITORAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS.

Aprovado(a) pela banca examinadora constituída por:

Prof.^a Dr.^a. Marilda Teixeira Mendes - ICA/UFMG

Prof.^a Dr.^a. Denise Ransolin Soranso - UNIFEI



Prof. Dr. Stanley Schettino – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 02 de setembro de 2021.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, socorro presente na hora da angústia. A minha mãe Salete Ruas de Carvalho, minha madrinha Aparecida Dias Souto a meus irmãos, e às pessoas as quais convivi ao longo desses anos. Afinal, a experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos foi a melhor experiência da minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Esta fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer a Deus por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado minha meta. Ele esteve ao meu lado e me deu resiliência para suportar, não desistir e continuar lutando por este meu sonho e objetivo de vida. A Ele eu devo tudo.

À Universidade quero deixar uma palavra de gratidão por ter me recebido de braços abertos e com todas as condições que me proporcionaram dias de aprendizagem muito ricos. A esta instituição tão imponente eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todas as pessoas que a tornam assim tão especial para quem a conhece. À Fundação Mendes Pimentel (FUMP) por ter me auxiliado durante os anos de estudo, proporcionando a realização de um sonho com a graduação.

Aos professores reconheço um esforço gigante com muita paciência e sabedoria. Foram eles que me deram recursos e ferramentas para evoluir um pouco mais todos os dias. Ao longo de todo meu percurso eu tive o privilégio de trabalhar de perto com os melhores professores, educadores, orientadores. Sem eles não seria possível estar aqui hoje com o coração repleto de orgulho. Em especial, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Stanley Schettino. A você, minha amizade, admiração e gratidão.

Amigos e família, em especial a minha madrinha Aparecida Dias Souto, a vocês eu deixo uma palavra gigante de agradecimento. Hoje sou uma pessoa realizada e feliz porque não estive só nesta longa caminhada. Vocês foram meu apoio. Aos colegas que se tornaram grandes amigos, como: Marcos, Jean, Carol Ruas e Amanda Russo; proporcionaram-me boas risadas e momentos de descontração ímpares. Sei que vou os levar para sempre na memória e no coração. A quem não mencionei, mas esteve junto eu prometo reconhecer essa proximidade, ajuda e incentivo todos os dias da minha vida. A todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte do meu percurso eu agradeço com todo meu coração.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”
(WALTERS, GRAHAM; **PROCURANDO NEMO**,
2003).

RESUMO

Os incêndios e queimadas são fatores de perturbação dos ecossistemas, seus principais impactos são na fauna e na flora, além de trazer prejuízos ao solo e contribuir para a emissão de gases do efeito estufa. O incêndio florestal é um dos eventos de desastre mais ativos em quase todos os países ao redor do mundo, e a disponibilidade de informações de várias fontes é sempre crítica. Uma dificuldade encontrada para a prevenção e a detecção de incêndios florestais é a pequena quantidade de pessoas responsáveis por áreas extensas, o que gera redução do tempo hábil para que o combate aconteça. Este estudo objetivou avaliar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais. A metodologia baseou-se na busca de trabalhos acerca da utilização do monitoramento como ferramenta para a detecção precoce de focos de incêndios, e com isso enfatizar benefícios potenciais que serão discutidos ao longo do trabalho. Os resultados apresentaram que o desenvolvimento de tecnologias modernas como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs), assim como métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados, e plataformas mais eficazes e flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais. Dessa forma, pode-se concluir que o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios necessitam de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Prevenção de Incêndios; Incêndios Florestais;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - série histórica abaixo apresenta dados do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre 1998 e 2021.....	15
Figura 2 - Sistema tradicional de detecção terrestre fixa.....	18
Figura 3. Plotagem de informações de relatórios de incêndios florestais relatados por agências russas de combate a incêndios.....	23
Figura 4 - Uma série de imagens com pontos críticos de incêndios florestais detectados pelo MODIS.....	24
Figura 5 - Dispositivo de captura e transmissão de dados <i>Sysforest</i>	25
Figura 6 - Escaneamento LiDAR Aerotransportado.....	25
Figura 7 - Exemplo de estrutura de RSSF.....	26
Figura 8 - VANTs sobrevoando uma área.....	27
Figura 9 - Diagrama mostrando o processo de detecção de incêndio florestal com índice de cores.....	28
Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens no sistema de torres de observação.....	19
Quadro 2 – Sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais.....	20
Quadro 3 - Autores utilizados e as tecnologias que suas pesquisas contemplaram.....	21
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens do monitoramento remoto por satélites.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVHRR	-	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
DGI	-	Divisão de Geração de Imagens
DSA	-	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
GFMC	-	<i>Global Fire Monitoring Center</i>
GOES	-	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>
IBAMA Renováveis	-	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INFOQUEIMA	-	Boletim mensal de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais.
INEP	-	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	-	<i>Internet Protocol</i>
LiDAR	-	<i>Light Detection and Ranging</i>
METOP	-	<i>Meteorological Operational Satellite Programme</i>
MODIS	-	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
NOOA	-	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PREVFOGO Florestais	-	Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
RSSF	-	Rede de Sensores Sem Fio
UAS	-	<i>Unmanned Aircraft Systems</i>
VANTs	-	Veículos Aéreos não tripulados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Incêndios florestais	13
2.2 Detecção de incêndios florestais	16
2.3. Torres de observação de incêndios florestais	18
2.4 Monitoramento remoto de incêndios florestais	20
3. METODOLOGIA	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios são causadores de danos sociais, ambientais e econômicos, uma vez que a ocorrência destes eventos varia em função da época do ano, localização geográfica, causa provável, tipo de vegetação e área atingida (TETTO; BATISTA; PIVOVAR, 2008). A preocupação com os impactos causados pelos incêndios florestais no Paraná, por exemplo, teve início após o incêndio que atingiu o estado, em agosto e setembro de 1963, afetando uma área de 2.000.000 de hectares. A partir de então as ações voltadas à prevenção e combate aos incêndios vem sendo aperfeiçoadas, em função da grande probabilidade de ocorrência e do prejuízo que podem causar.

Estima-se que, na América do Sul, entre 1977 e 2007, tenham ocorrido pelo menos 290.000 incêndios florestais, afetando 51,7 milhões de hectares, sendo que cerca de 300.000 hectares foram de cultivos florestais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Os prognósticos das mudanças climáticas preveem uma elevação dos incêndios florestais em vários pontos geográficos, motivo pelo qual os países precisam expandir a sua cooperação, estarem coordenados e qualificados para encarar esses desafios diante de um cenário mais rígido (GFMC, 2007).

Os incêndios florestais no Brasil se concentram no inverno e início da primavera (junho a outubro), por apresentar as médias mais baixas de precipitação e umidade relativa do ar. Esse período equivale a cerca de 69 % de ocorrência dos incêndios e mais de 90 % das áreas queimadas. Condições como clima quente, estações muito secas e grandes períodos de estiagem, contribuem para maior intensidade e frequência dos incêndios florestais (ALBUQUERQUE, 2020; VOSGERAU *et al.* (2006).

Além dos fatores já citados, outro que dificulta a prevenção e a detecção de incêndios florestais é a pequena quantidade de pessoas responsáveis por áreas extensas. Assim, surge o problema de monitoramento e a detecção precoce do fogo, que se ocorrer em tempo hábil pode reduzir significativamente o impacto nessas áreas, bem como o custo e tempo necessários para combater o incêndio (ALKHATIB, 2014).

Em se tratando de detecção dos focos de incêndio, um método bastante utilizado são as torres de observação, o qual oferece subsídios importantes para diminuir o tempo do primeiro combate, tendo em vista que a construção de torres em pontos estratégicos permite abrangência de visibilidade do observador na identificação dos focos de incêndio (VENTURI; ANTUNES, 2007). Entretanto, como uma técnica tradicional de detecção de incêndios florestais, as torres de vigilância apresentam elevado custo de instalação e operação, consomem

grande quantidade de mão de obra e são relativamente ineficientes. Além disso, a busca e observação do fogo é uma atividade perigosa e demorada quando dependente exclusivamente das habilidades da força de trabalho humana.

Ainda, soma-se o fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Com o desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs).

Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais e rede de sensores (MOLINA-PICO, 2016).

Em informações disponibilizadas pelo INFOQUEIMA (2021), o método de monitoramento mais utilizado é o monitoramento remoto, através da utilização de satélites. São utilizados dez satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. No presente (setembro/2020), são processadas operacionalmente, na Divisão de Geração de Imagens - DGI e na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens dos satélites polares, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3.

Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram seis imagens por hora, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. Vários satélites utilizados no passado não estão mais em operação, como p. ex. o NOAA-9 que foi o primeiro a fornecer focos para o INPE no período 1984-1998.

Diante desse contexto, este estudo objetivou avaliar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais, com base em estudos realizados com este enfoque.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Incêndios florestais

Os incêndios florestais são um dos principais fenômenos recorrentes que provocam a destruição de áreas naturais e causam um imenso dano a fauna e a flora desses locais. Frequentemente, provocam também a destruição de construções próximas as regiões afetadas e a perda de vidas humanas (ALBUQUERQUE, 2019).

Segundo o Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (LEMOS *et al.*, 2010), incêndio florestal é todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo tanto ser provocado pelo homem ou por causas naturais. Castro *et al.*, 2003 identificam três fatores que influenciam no comportamento dos incêndios florestais: o tipo de combustível, tipo de relevo e as condições meteorológicas. A ação de cada um desses fatores é diferente para cada região e para cada época do ano, modificando o comportamento do fogo (TORRES *et al.*, 2020).

De acordo com Ribeiro (2002), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios se baseia no grau de envolvimento de cada estrato do combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores, no processo da combustão. Nesse caso, os incêndios são classificados em subterrâneos, superficiais e de copa.

A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são imprescindíveis para o controle do fogo e para a redução de custos no combate e de danos. Logo, os métodos de detecção e monitoramento de incêndios florestais são essenciais para o controle e o dimensionamento dos efeitos causados pelas chamas sobre o meio ambiente (BATISTA, 2004). O controle de incêndios florestais está associado às ações administrativas e técnicas tomadas para realizar a prevenção e o combate ao fogo, as quais podem ser realizadas por uma instituição privada ou pública, municipal, estadual ou federal (TORRES *et al.*, 2020).

Dentre a sequência de etapas de combate aos incêndios, a detecção é indubitavelmente a de maior importância, pois um incêndio só pode ser combatido depois de descoberto e localizado, e quanto mais precoce se detecta o evento, maior a probabilidade de ser combatido, minimizando os danos (SARAIVA, 2011).

Muitas são as dificuldades e limitações do mais utilizado método de monitoramento e detecção dos incêndios florestais, as torres de observação. Tais postos de vigilância têm sua eficiência limitada à visibilidade do meio e ao alcance visual, com sua eficácia relacionada diretamente com a responsabilidade e qualificação específica do “vigilante”. O alto custo de investimento e operação, faz com que somente as grandes e organizadas empresas mantenham

redes de torres de vigilância, fazendo com que as unidades de conservação e demais áreas rurais, com raríssimas exceções, tenham seus eventos de incêndios detectados quando a intensidade do fogo já é grande e o combate bastante difícil (SARAIVA, 2011)

Ramos (2004) afirma que, a partir da década de 60, a destruição das florestas tomou um rumo nunca antes experimentado. Aumentaram também as queimadas e os incêndios florestais, trazendo como resultado mais destruição da vegetação e os inconvenientes da poluição atmosférica. Além disso, as unidades de conservação ficaram mais vulneráveis aos incêndios florestais.

Com a criação do Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965) e pelo disposto no artigo 27, é proibido o uso do fogo nas florestas, exceto quando for utilizado para fins de queima controlada. Destaca-se ainda o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), criado pelo Decreto 97.635/89, que atribuiu ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a competência de coordenar as ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades de pesquisa, prevenção, controle e combate às queimadas e incêndios florestais no Brasil (SCHUMACKER; DICK, 2018).

Os efeitos diretos da combustão no ecossistema são: a redução da matéria orgânica e a liberação de calor, nutrientes e produtos da combustão. Como resultado desses efeitos diretos, os impactos serão observados em maior ou menor proporção, dependendo da intensidade do fogo, nos diversos elementos do ecossistema, tais como: o solo, a vegetação, a fauna silvestre, o ar atmosférico entre outros (LIMA; BATISTA, 1993). A destruição da vegetação é, visualmente, a consequência mais significativa da força do fogo. Dependendo de sua intensidade, a vegetação pode ser destruída totalmente ou ficar comprometida em seu crescimento e em outras características (SOARES; BATISTA, 2007).

No Brasil, as pesquisas relacionadas aos efeitos do fogo têm sido desenvolvidas principalmente no Cerrado e na Amazônia, onde os incêndios florestais ocorrem com maior frequência e intensidade (PREVFOGO/IBAMA, 2005). Estudos sobre o impacto do fogo em florestas tropicais tornam-se cada vez mais importantes à medida que os efeitos provocados pelos incêndios passam a ter repercussões globais negativas, particularmente sobre a atmosfera e o estoque de biodiversidade (WHITMORE, 1990; COCHRANE, 2004).

Os dados disponibilizados pelos relatórios do INFOQUEIMA (2021), datam o começo do monitoramento de focos de incêndios em 1998, o qual apresentou 123.896 focos. A partir do ano seguinte (1999), nota-se um aumento (mesmo que discreto no início) dos focos de

incêndios no país. A série histórica abaixo apresenta dados do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre 1998 e 2021.

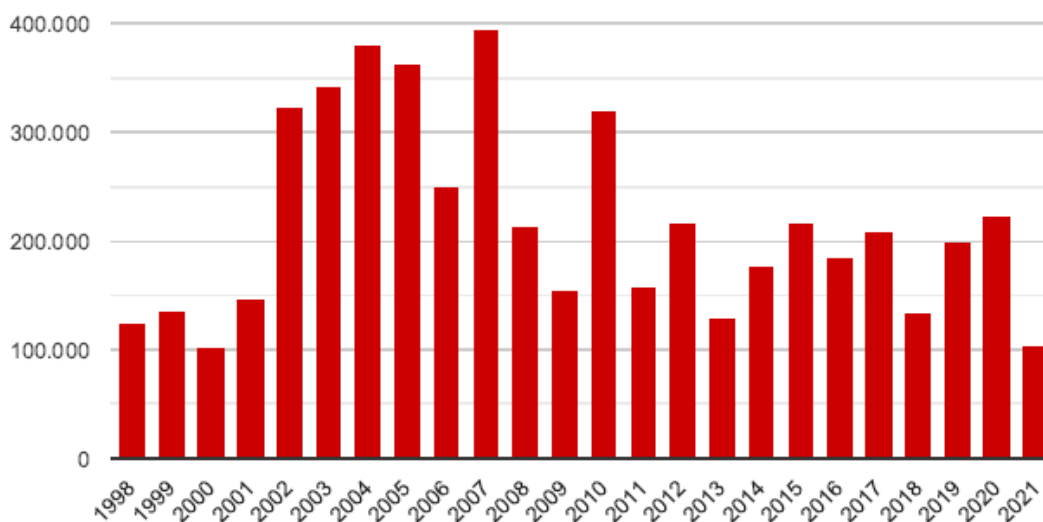


Figura 1 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 09/09/2021.

Entre os anos de 2002 a 2005 percebe-se o notório aumento dos focos, quando comparados aos anos anteriores. O ano de 2007 foi o ano recorde de detecção de focos, atingindo por volta de 393.915 focos ativos no ano. Nos próximos anos teve uma queda, porém logo percebe-se um aumento desses focos, a partir de 2015 (ano que teve inúmeros incêndios florestais pelo país), o ano de 2021 apresenta um índice menor pois os relatórios liberados pelo INFOQUEIMA constam até julho (INFOQUEIMA, 2021).

Em junho de 2021 foram registradas 7.473 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência. Os estados líderes em detecção de focos de fogo são, em primeiro lugar, Mato Grosso, seguido de Tocantins, Maranhão e Minas Gerais. Em julho de 2021 foram registradas 15.985 detecções de focos de fogo ativo em todo o país, indicado pelo satélite de referência (INFOQUEIMA, 2021).

2.2 Detecção de incêndios florestais

A detecção do incêndio ou dos focos de fogo??? é o tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento em que ele é visto por alguém. Quanto menor o intervalo de tempo entre o início do fogo e o começo do ataque, mais fácil será seu controle (RIBEIRO, 2002).

Segundo Vélez (2000) a detecção de incêndios se fundamenta em uma série de atividades cujos objetivos são: descobrir, localizar e comunicar o início de um fogo a uma central de operações, gerando o que se conhece como “alarme de incêndio”. Contar com uma detecção eficiente dentro de um programa de controle de incêndios é garantia de que os danos produzidos pelo fogo e os gastos com as operações de combate serão mínimos (SARAIVA, 2011).

A fase de combate aos incêndios florestais é antecedida pela detecção do foco de incêndio, que resulta do seu avistamento, e é desejável que a sua localização seja a mais imediata e rigorosa possível, uma vez que a detecção de um foco de incêndio é um fator determinante para o desenrolar de todas as restantes ações. É a partir da detecção, e da forma como essa informação chega aos centros operacionais, que se desencadeiam todos os subsequentes procedimentos (TORRES *et al.*, 2020).

Quanto maior o fogo, mais difícil o seu combate. Por isto, a capacidade de detectar ou descobrir rapidamente os focos iniciais de fogo é um dos principais objetivos dos serviços de prevenção e combate aos incêndios florestais. O controle dos incêndios florestais em uma determinada região começa, portanto, com um eficiente sistema de detecção e localização de focos de incêndios (SOARES; BATISTA, 2007).

A detecção pode ser feita por meio de vigilância terrestre, por observação de torres ou locais de boa visibilidade e com o auxílio de aeronaves ou equipamentos automatizados, como sensores, satélites, etc. (SHUMACKER; DICK, 2018). A detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em: terrestre (fixa e móvel) e aérea (aeronaves e satélites) (TORRES *et al.*, 2020).

Contudo, cada um desses meios de detecção tem as suas vantagens e limitações, pelo que a implementação e o desempenho de cada um deles deve ser alvo de uma análise escrutinada, avaliando as várias opções e as características intrínsecas da área a monitorar.

2.3. Sistemas de vigilância

Para que um incêndio ocorra é necessária a chama inicial para dar início ao processo da combustão. Assim, qualquer ação para prevenção dos incêndios florestais deve buscar a eliminação de suas causas. De acordo com Nogueira *et al.*, (2001), a melhor forma de combater um incêndio florestal é através de sua prevenção.

Um dos elementos básicos para o controle dos incêndios florestais é a implementação de sistemas de vigilância, cujos principais objetivos são: vigilância preventiva das zonas prioritárias para a conservação de modo que seja evitada a ocorrência de incêndios e possibilitada a identificação dos agentes que, por negligência ou intencionalmente, possam provocar os incêndios; e detectar o incêndio no menor tempo possível e efetuar a comunicação do evento para a estrutura de acionamento da brigada que efetuará o controle e extinção do mesmo (LEMOS, 2010).

Tradicionalmente a vigilância das florestas tem sido realizada por pessoas, previamente instruídas para esse efeito, mas ultimamente cada vez mais é complementada com recurso a diversos meios tecnológicos (TORRES, 2020). De acordo com Lemos (2010) a detecção e vigilância, em função dos recursos que utiliza, costuma dividir-se em:

1) Terrestre (fixa e móvel);

- O sistema terrestre fixo é baseado na localização de pontos fixos do terreno para efetuar o monitoramento da área. A boa escolha dos pontos de observação é fundamental;
- O sistema terrestre móvel consiste na vigilância da área pelo deslocamento da equipe por meio de rondas. No deslocamento, pode-se utilizar diversos meios de transporte, motorizados ou não, tais como: automóveis, motos, bicicletas, cavalos, entre outros;

2) Aérea (aeronaves e satélites)

- O sistema aéreo consiste na utilização de aeronaves para monitoramento de grandes extensões territoriais. Método pouco utilizado no Brasil para a detecção de incêndios por causa da carência de aeronaves.
- O sistema de satélites utiliza satélites com sensores de luz e calor de distintas resoluções espaciais e temporais que, conjuntamente, oferecem leituras diárias de possíveis focos de incêndios em todo território nacional.

2.3. Torres de observação de incêndios florestais

A detecção terrestre fixa é feita através das torres de observação, geralmente construídas de ferro ou madeira, tendo no topo uma cabine fechada com visibilidade para todos os lados (Figura 1). São instaladas em pontos altos, com alturas entre 12 e 42 m que variam em função do relevo da área monitorada. A distância visual máxima de uma torre de observação, dependendo das condições locais de visibilidade, varia entre 8 a 15 km. Considerando-se uma capacidade visual média, uma torre pode cobrir uma área de 8.000 a 20.000 ha, dependendo principalmente do relevo (SOARES; BATISTA, 2007).

Figura 2 - Sistema de detecção terrestre fixa.



- Legenda: a) Construção de alvenaria;
 b) Torre metálica;
 c) Torre metálica de uma só componente.

Fonte: Torres (2020).

Entretanto, as torres representam uma parte significativa do orçamento do sistema de prevenção de uma área ou região, o que exige um planejamento cuidadoso, visando a utilização do menor número de torres para cobrir a maior área possível. Os critérios geralmente utilizados para escolha dos locais para instalação das torres são o relevo, as vias de acesso, a altitude dos pontos mais destacados dentro da área, a formação vegetal, a visibilidade e a importância da área a ser protegida (LEMOS, 2010).

Para se obter a localização exata de um foco de incêndio é necessário que dois ou mais postos de vigia forneçam os respectivos azimutes desse foco de incêndio aos centros

operacionais, onde, sobre um mapa, cruzam-se as linhas correspondentes a esses azimutes, cujo local de intersecção dá as coordenadas geográficas do ponto de ignição (TORRES, 2020).

É fundamental uma boa distribuição dos postos de vigia para se conseguir assegurar um grau de visibilidade abrangente e contínuo das manchas florestais, para com o menor número de postos de vigia se cobrir a maior área possível. A eficácia dos Postos de Vigia depende das capacidades do próprio vigilante em reconhecer uma coluna de fumaça, diferenciando-a de outras fumaças inerentes à atividade humana do dia a dia, para não ativar falsamente os escassos meios de combate, bem como depende também dos meios de que dispõe para entrar em contato com os centros de decisão (LEMOS, 2010). A seguir, algumas vantagens e desvantagens desse sistema:

Quadro 1 - Vantagens e Desvantagens no sistema de torres de observação

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Os Postos de vigia permitem uma vigilância contínua das áreas florestais e em comunicação permanente com os centros operacionais.	A acuidade visual e a fadiga a que estes agentes estão sujeitos, bem como deficientes técnicas de observação, fazem com que o índice de detecção seja mais baixos que os alertas dados pelos populares;
Todavia, para assegurar um grau de cobertura satisfatório, é necessária uma rede articulada de vários postos;	A existência de áreas extensas que não se conseguem observar em linha de vista, uma vez que a área diretamente visível pelos postos de vigia pode variar, consoante os locais, entre 10 e 40 ou mais quilômetros
A detecção por dois ou mais postos de vigia permite localizar facilmente, através de técnicas de triangulação, o foco de incêndio e proceder ao alerta e ativação de meios de combate;	Normalmente é um trabalho sazonal, precário, com condições de trabalho abaixo dos padrões aceitáveis, pelo que há dificuldades de recrutamento e contratação de pessoal
Os postos de vigia servem, também, para fiscalização da área, coibindo a ação dos agentes causadores de incêndios, principalmente de origem humana	Dependência das condições atmosféricas e diminuição do grau de visibilidade durante a noite, o que dificulta a detecção das colunas de fumaça.
	A detecção atempada depende do grau de conhecimento dos agentes e da atenção constante dos vigias durante o seu turno;
	O fato de os trabalhadores ficarem isolados por longos períodos de tempo, expondo-os a uma situação similar ao trabalho precarizado. Sob tal condição, o trabalho isolado não é apenas uma questão física, mas pode também ser acompanhada por uma reação de isolamento psíquico.

Fonte: Adaptado de Torres, (2020).

2.4 Monitoramento remoto de incêndios florestais

Tradicionalmente, o controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. Idealmente, o alerta de incêndio devia ser dado de forma autónoma, automática e sistemática. Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Os sistemas visam, de forma geral, fornece imagens e dados relativos aos incêndios para que as entidades responsáveis pelo combate às chamas partam para o terreno mais cedo, evitando a propagação do incêndio, e com mais informações acerca do que encontrarão.

Os sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais podem ser divididos em três categorias, como mostra o quadro abaixo (Quadro 2):

Quadro 2 – Sistemas de monitoramento e detecção de incêndios florestais

TIPOS DE SISTEMA	TECNOLOGIA UTILIZADA
Baseados em processamento de imagem	Imagens de satélite ou câmeras fixas
Sistemas térmicos	Sensores estáticos ou dinâmicos
outras aplicações	Radares, LIDAR e detecção de som

Fonte: Ribeiro, 2014.

À medida que, na sua trajetória orbital, os satélites vão varrendo a superfície terrestre, procedem à captação de imagens com características espectrais (multiespectrais, pancromáticos, RADAR, LIDAR, óticos, térmicos, etc.), consoante sua própria tipologia, dado que não só têm diferentes velocidades e altitudes orbitais, mas também estão munidos com um conjunto de diferentes sensores, geralmente *Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) ou *Along-Track Scanning Radiometer* (ATRS). Esses sensores tornam os satélites capazes de levantar e monitorar diversas variáveis que permitem a detecção e localização do foco de incêndio, após serem tratadas por meio de softwares de detecção remota e recomposição das bandas de imagens (TORRES, 2020).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado no modelo de pesquisa bibliográfica, consistindo na leitura e interpretação de material publicado relacionado ao tema em questão. A principal vantagem do uso da pesquisa bibliográfica, é possibilitar ao investigador uma visão mais ampla da gama de fenômenos, do que aquela que poderia ter ao pesquisar diretamente (GIL, 2007).

Utilizando como base referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos, artigos e base de dados, a revisão bibliográfica busca explicar e discutir um tema visando o enriquecimento da pesquisa (MARTINS; PINTO, 2001).

A fim de atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistemática exploratória, descritiva com pesquisa em livros, teses, dissertações, e internet, utilizando principalmente as plataformas do Google Acadêmico, Elsevier, revistas do setor florestal, seminários e simpósios, tomando por base o que já foi publicado em relação ao tema, de modo que se possa ter uma nova abordagem sobre o mesmo, chegando a conclusões que possam servir de embasamento para pesquisas futuras.

Os diversos tipos de tecnologia utilizadas para o monitoramento de incêndios florestais são analisados pelos pesquisadores que constam no quadro abaixo.

Quadro 3 – Autores utilizados e as tecnologias que suas pesquisas contemplaram

AUTORES	SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO
Razafimpanilo <i>et al.</i> , (1995); NASA, (1999); Batista, (2004); Nakau <i>et al.</i> , (2006); Aslan; Korpeoglu; Ulusoy, (2010);	IMAGENS DE SATÉLITES
Gandia <i>et al.</i> , (1994); Unewisse <i>et al.</i> , (1995); Lorenz, (1997); Alkhatib, (2014);	CAMÉRAS e INFRAVERMELHOS
Eberhard (1983) Banta <i>et al.</i> , (1992) Fromm <i>et al.</i> , (2000) Utkin <i>et al.</i> , (2003) Vélez, (2000) Arrue <i>et al.</i> , (2000)	LiDAR
Yu, Wang e Meng (2005)	REDES DE SENSORES SEM FIO (RSSF)

Lloret <i>et al.</i> , (2009) Correia, (2017) Alkhatib, (2014); Zhu, Xie e Yuan (2012); Molina-Pico <i>et al.</i> , (2016);	
Ollero <i>et al.</i> , (1998); Yuan, Zhang e Liu (2015); Yuan <i>et al.</i> , (2016); Cruz <i>et al.</i> , (2016);	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

Fonte: Do Autor, (2021).

Os materiais consultados tinham como foco principal definir os conceitos relacionados aos incêndios florestais, às formas de detecção, observação e monitoramento dos mesmos, com o objetivo de apresentar a utilização do monitoramento remoto como ferramenta para a detecção de incêndios florestais. As palavras-chave adotadas foram: Incêndios Florestais, Monitoramento Remoto, Controle de Incêndios.

Os trabalhos utilizados nesta pesquisa, são referentes aos últimos quarenta anos (1980-2021), tal espectro é interessante pois permite uma melhor visualização das melhorias e estudos que surgiram acerca desse tema no decorrer dos anos.

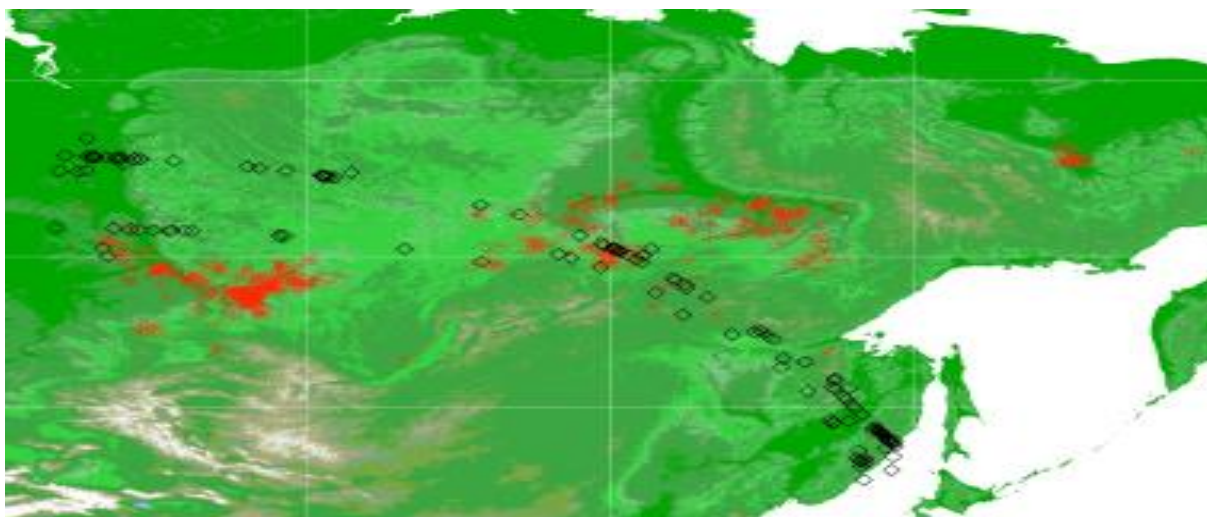
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico será abordado sobre os métodos de monitoramento que são utilizados para a detecção e prevenção de incêndios florestais. Os métodos mais utilizados são as imagens de satélite (AVHRR e MODIS), redes de sensores (imagens de câmeras e wireless), sensores infravermelhos, LiDAR, radares, rede RSSF, entre outros.

Satélites em órbita terrestre e até dispositivos flutuantes no ar têm sido empregado para observação e detecção de incêndios florestais. Para países de grande extensão territorial, como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais, a nível nacional e em escalas regionais, o uso de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de baixo custo, quando comparado com os demais meios de detecção.

A detecção é feita através de imagens termais dos satélites que captam os pontos de calor, através do sensor AVHRR (Figura 3), que registra qualquer temperatura acima de 47° C (BATISTA, 2004). Devido a esta baixa temperatura há uma grande quantidade de alarmes falsos, além da desvantagem de o sistema não permitir uma detecção contínua. Outro satélite utilizado é o espectro radiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS), lançado em 1999 (NAKAU *et al.*, 2006; NASA, 1999).

Figura 3 - Plotagem de informações de relatórios de incêndios florestais relatados por agências russas de combate a incêndios

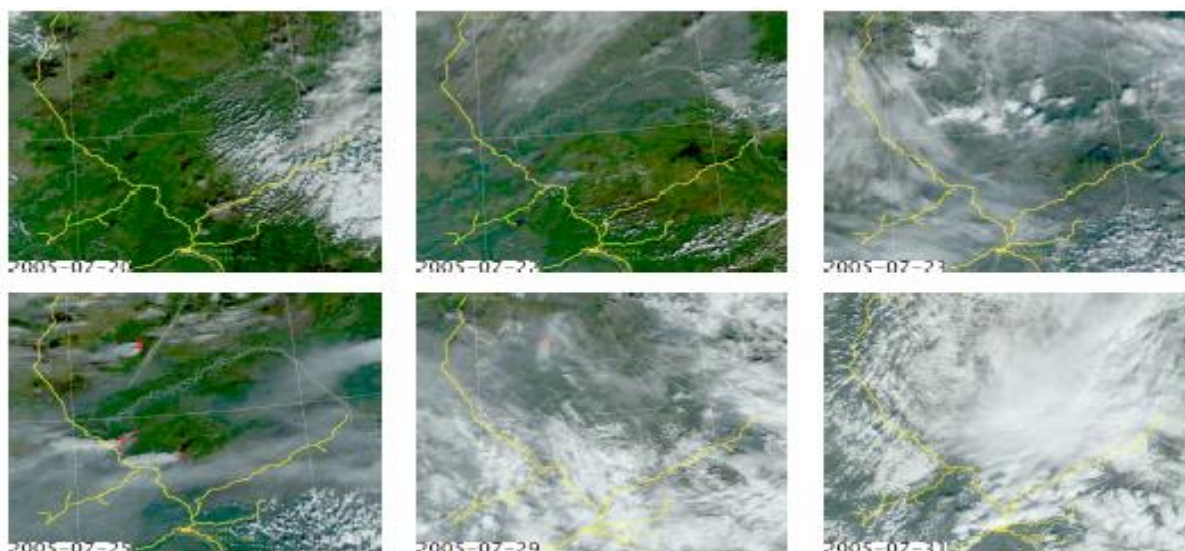


Fonte: Nakau *et al.*, 2006.

Estes satélites podem fornecer imagens das regiões da Terra a cada dois dias e isso é muito tempo para a varredura de incêndio; além do mais a qualidade das imagens de satélite pode ser afetada pelas condições do clima (Figura 4) (ASLAN; KORPEOGLU; ULUSOY, 2010). De acordo com Razafimpanilo *et al.* (1995), a eficiência do monitoramento de incêndios

por satélites depende de informações prévias do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural e fenologia da vegetação e condições climáticas.

Figura 4 - Uma série de imagens com pontos críticos de incêndios florestais detectados pelo MODIS.



Plotagens vermelhas correspondem a pontos de acesso, linha amarela a rodovias. As imagens incluem *Fairbanks* na parte inferior, *Coldfoot* no topo e círculo no lado direito.

Fonte: Nakau *et al.*, 2006.

Dois tipos diferentes de redes de sensores capazes de detectar incêndios estão disponíveis: vigilância por câmera e wireless rede de sensores. O desenvolvimento de sensores, câmeras digitais, processamento de imagens e computadores industriais resultaram no desenvolvimento de um sistema para reconhecimento óptico e automatização e alerta de incêndios florestais (ALKHATIB, 2014).

Desde os anos 90, o uso de sensores de infravermelho vem sendo estudado e aplicado na detecção de incêndios, mas sua eficiência é bastante variável. Apresentam excelente eficiência na detecção, mas estão severamente limitados ao alcance, atuando em escala de poucos quilômetros (GANDIA *et al.*, 1994).

Unewisse *et al.*, (1995) sugeriram o uso de rede de câmeras de infravermelho (Figura 5) nas áreas monitoradas, como sistema de grande eficiência, mas de elevado custo de implantação e manutenção, sendo necessário uma câmera a cada quilometro quadrado. Outra tecnologia de sensor aplicada é o radiômetro de infravermelho que provê a temperatura de determinado ponto, mas considerado eficiente apenas como caminho para confirmação de alarme de ocorrência do evento (LORENZ, 1997).

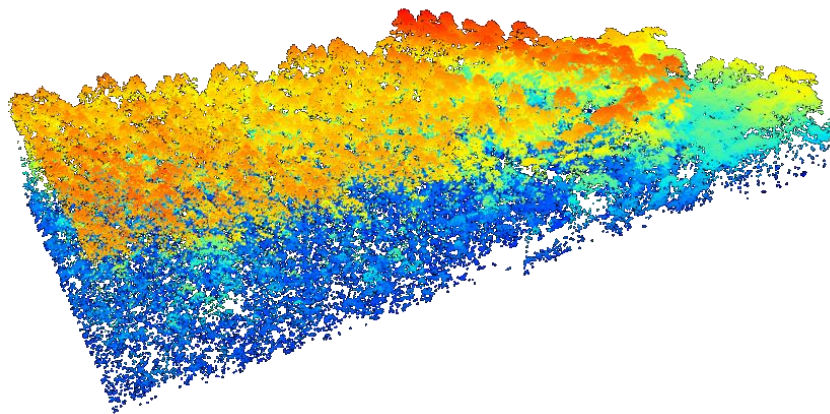
Figura 5 - Câmeras de infravermelho *Sysforest*.



Fonte: Sysforest, 2021

O LiDAR (*Light Detection and Ranging*), tecnologia óptica de detecção remota que tem sido testada no setor florestal, tem sido visto como promissora. A tecnologia mede as propriedades da luz refletida e funciona estimando distâncias baseadas no tempo entre a emissão de um pulso de laser e detecção do sinal refletido. Funciona emitindo feixes ópticos sobre as florestas e recebendo dados de varreduras, como demonstrado na figura a seguir (Figura 6).

Figura 6 - Escaneamento LiDAR Aerotransportado.



Fonte: SiF, 2020.

Testes preliminares utilizando combinação de radar Doppler banda X e LiDAR, detectaram e acompanharam coluna de fumaça produzida por dois incêndios florestais de grandes proporções (BANTA *et al.*, 1992). Eberhard (1983) acompanhou fumaça produzida pela queima de óleo com uso do LiDAR. Medições da densidade da fumaça de incêndios florestais na estratosfera foram realizadas por Fromm *et al.* (2000) e Utkin *et al.* (2003) estudaram viabilidades do uso do LiDAR na detecção de fumaça de incêndios florestais.

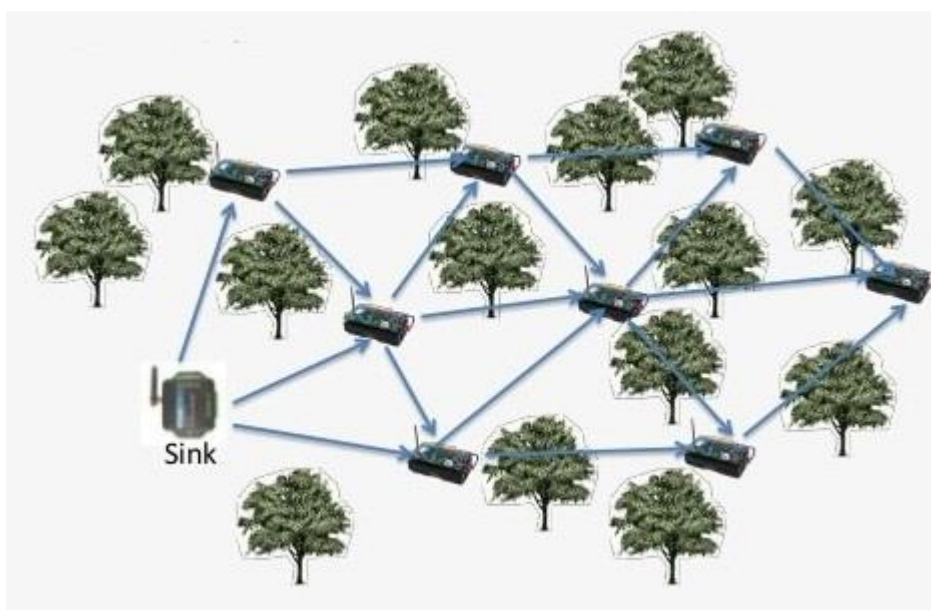
A detecção através do uso da telemetria a laser, que faz uma varredura sistemática ao longo do horizonte e monitora uma extensa área ao redor do detector, está em fase experimental, não sendo ainda utilizado operacionalmente (VÉLEZ, 2000).

O uso de avançadas tecnologias como sistemas computacionais que combinam imagens de infravermelho obtidas por satélites, redes neurais e lógica *fuzzy*, exemplificam esforços de se obter ferramenta auxiliar para minimizar falsos alarmes de focos de incêndios indicados unicamente pelo sensoriamento remoto via satélite (ARRUE *et al*, 2000).

Yu, Wang e Meng (2005) apresentam um sistema de detecção de incêndios florestais em tempo real usando redes de sensores neurais sem fio. Eles utilizaram um algoritmo de agrupamento como técnicas de roteamento para coletar a medição dos sensores espalhados, como umidade, temperatura, fumaça e velocidade do vento onde esses dados foram usados como entrada para a Classificação Nacional de Perigo de Incêndio dos Estados Unidos Sistema.

Uma nova tecnologia chamada rede de sensores sem fio (RSSF) tem recebido mais atenção e passou a ser aplicado na detecção de incêndios florestais. Os nós wireless integram na mesma placa de circuito impresso, os sensores, os dados processamento, e o transceptor sem fio e todos eles consomem energia das mesmas baterias de origem (CORREIA, 2017). A revolução da tecnologia RSSF nos últimos anos tornou possível aplicar esta tecnologia para detecção precoce de incêndios florestais, como demonstra a Figura 7 (ALKHATIB, 2014).

Figura 7 - Exemplo de estrutura de RSSF.



Fonte: Lustosa, 2014.

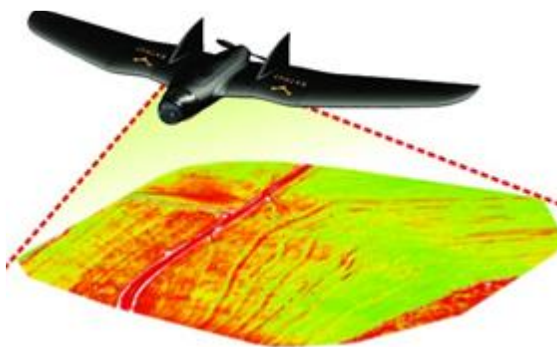
Zhu, Xie e Yuan (2012) criaram um sistema de monitoramento de incêndios florestais com base em redes de sensores sem fio e rede GPRS. Foram utilizados sistemas de cluster para fornecer monitoramento em tempo real para fumaça, temperatura, umidade e algum outro ambiente parâmetros mentais. Os dados coletados dos nós irão ser transmitido em modo multihop para o nodec central e em seguida, para o centro de monitoramento para produzir relatórios, gráficos e curvas para ajudar os bombeiros a tomar uma decisão adequada

Um método de detecção precoce de incêndio é proposto por Molina-Pico *et al.*, (2016) que usa um RSSF para detecção precoce de floresta incêndios. Esta rede pode ser facilmente implantada em áreas especiais interesse ou risco. Os resultados mostram que a detecção precisa de incêndio foi alcançado, sendo muito raro o acionamento do alarme falso.

Lloret *et al.* (2009) sugeriu a implantação de uma rede *mesh* de sensores fornecidos com câmeras de protocolo de internet (IP) na Espanha. Os sensores detectam o incêndio no início e envie um sinal de alarme. O IP envia de volta uma mensagem para ligar a câmera mais próxima para fornecer imagens do incêndio e evitar alarmes falsos. Seu papel é baseado em testar o desempenho de quatro câmeras IP e seus consumo de energia. O problema com este sistema é que a transferência de imagens é pesada para redes de sensores sem fio em relação aos seus recursos limitados de poder, memória e buffer. As câmeras IP podem fornecer apenas uma linha de imagens visuais e não são eficientes no escuro, na neblina e na chuva. As câmeras IP necessitam de instalação, de cada uma delas, manualmente e na posição apropriada.

Um levantamento abrangente para o uso de veículos aéreos não tripulados para monitoramento de detecção e realização de atividades de combate a incêndios (Figura 8) é fornecido em Yuan, Zhang e Liu (2015). Primeiro uma breve revisão do desenvolvimento e em seguida uma revisão das tecnologias relacionadas aos VANTs, desafios e suas soluções potenciais também são fornecidos.

Figura 8 – Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) sobrevoando uma área.

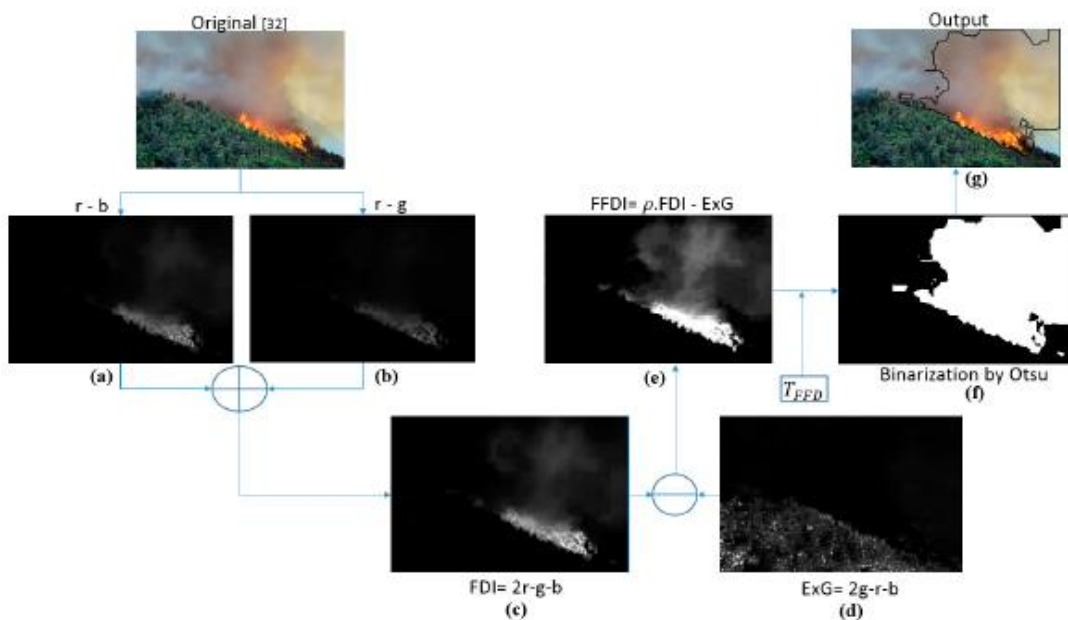


Fonte: Silva Neto, 2016.

A pesquisa conduzida por Yuan *et al.*, (2016) apresenta um método de monitoramento e detecção de incêndios florestais com sensores visuais em veículo aéreo não tripulado (VANTs). Cor, movimento e características do fogo são adotados para o projeto da floresta estudada. Essa estratégia de detecção de incêndio tem como objetivo melhorar o desempenho de detecção do fogo, enquanto reduz as taxas de alarmes falsos.

Cruz *et al.*, (2016) descreveram um índice de incêndio que pode ser aplicado ao Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) para detectar fogo. Os autores conseguiram atingir uma precisão de detecção de mais de 96% com tempo de processamento de 4 min (Figura 9).

Figura 9 - Diagrama mostrando o processo de detecção de incêndio florestal com índice de cores



Legenda: a) r menos b ; b) r menos g ; c) FDI (*Fire Detection Index*); d) ExG (*Excess Green colors*); e) FFDI; f) binarização; g) região de incêndio detectada.

Fonte: Cruz *et al.*, 2016.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios, Ollero *et al* (1998) aponta para a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

Apesar das utilizações citada, essas tecnologias possuem pontos positivos e negativos, os quais são expostos no quadro 4.

Quadro 4- Vantagens e desvantagens do monitoramento remoto:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Apresentam tempos médios homogêneos na cobertura das imagens, permitindo comparações diretas	Elevados custos para a sua implementação e operacionalização;
Proporcionam cobertura frequente e repetitiva de uma área de interesse, além de cobrir grandes áreas florestais onde a presença humana, fixa ou móvel, é de difícil acesso,	A rapidez na detecção e na localização dos incêndios ainda não é a mais adequada para que se consiga uma primeira intervenção rápida;
Proporcionam aquisição de dados em diferentes escalas, resoluções e periodicidade;	A presença de nuvens limita a quantidade de informação válida numa imagem, uma desvantagem clara em relação à detecção de incêndios, que reside no fato das nuvens poderem ocultar o foco de incêndio ativo ou gerar falsas detecções
Fornecem imagens que podem ser interpretadas para diferentes fins e aplicações;	
Possibilitam a detecção de incêndios ativos tanto durante o dia, pela atividade térmica ou pelo infravermelho médio, quanto à noite, pela luz emitida pelo incêndio	Em virtude de fenômenos de reflexão, uma vez que tanto os bordos de nuvens, como outros elementos do mobiliário urbano ou das atividades humanas podem apresentar uma assinatura espectral similar à dos incêndios florestais no infravermelho médio.

Fonte: Adaptado de Torres (2020).

Todos os sistemas apresentam as suas vantagens e muitos estudos com sucesso têm sido feitos e publicados, mas as desvantagens também existem, pelo que muitas vezes, para um sistema se tornar aplicável a todas as situações, seria necessário combinar mais do que uma tecnologia para se obter resultados positivos (RIBEIRO, 2014).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle e prevenção de incêndios florestais é feito por pessoas, em postos fixos de vigia, e por vigilância móvel. A rede de detecção de incêndios florestais deve ser uma ferramenta fácil para implementar com pouca ou nenhuma manutenção.

Neste sentido, têm sido reunidos esforços para desenvolver tecnologias que permitam complementar os métodos já existentes, aumentando a eficácia na detecção precoce de incêndios, possibilitando uma intervenção mais rápida e mais informada, diminuindo assim as consequências desta catástrofe.

Considerando as características do fogo é possível o uso de diversas abordagens para a detecção de incêndios florestais, como: a utilização de câmeras de alta resolução com imagens ópticas, infravermelhas ou térmicas; som acústico de rádio com forma de inferir o fluxo meteorológico ou os perfis de temperatura nas áreas florestais, além da implementação de rede de sensores.

Desta forma, a partir do desenvolvimento de tecnologias modernas, métodos de detecção automática de incêndios florestais mais avançados podem ser adotados e plataformas mais eficazes e flexíveis podem ser desenvolvidas para superar as desvantagens dos métodos tradicionais, como satélites, equipamentos terrestres e veículos aéreos não tripulados (VANTs), garantindo, assim, a rapidez necessária para a detecção dos princípios de incêndios florestais com maior precisão e com custos compatíveis.

Considerando o resultado de diferentes sistemas e metodologias de detecção de incêndios percebe-se a necessidade de integração de sistemas multissensorial incluindo imagens de infravermelho, imagens visuais, informações de sensores, mapas e modelos aliados com a experiência e conhecimento do elemento humano nas atividades de campo, como a melhor resposta na tentativa de minimizar os efeitos dos incêndios florestais.

REFERÊNCIAS

ALKHATIB, A.A.A. A Review on forest fire detection techniques. **International Journal of Distributed Sensor Networks**. v.10, n3, 12p. 2014. Disponível em: <<https://cutt.ly/VWpwicB>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ALBUQUERQUE, S.; SILVA, F.; OLIVEIRA, D. Análise espacial da distribuição de sensores para a detecção de incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Rola Moça. *In: XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão de Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA)*, 11, 2020. Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p11-18, 2021. Disponível em: <<https://cutt.ly/QWpwt1Q>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ALBUQUERQUE, S.; FONSECA, D.; LIMA, R.L.; MILANES, A.; ROCHA, I.C.; SANTOS, A.M.; SILVA, G.; VIVEIRA, F. Sistema de internet das coisas para detecção de incêndios florestais. *In: XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão de Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA)*, 11, 2020. Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p. 141-150, 2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/QWpwwLR>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

ARRUE, C. B.; OLLERO, A.; DIOS, J. R. M. **An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection**. University of Sevilha, Spain. *IEEE Intelligent Systems*, p. 65-73, 2000. Disponível em: <<https://cutt.ly/oWpq624>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

ASLAN, Y.E.; KORPEOGLU, I.; ULUSOY, O. **A framework for the use of wireless sensor networks in the forest fire detection monitoring** [M.S. thesis], Department of Computer Engineering, The Institute of Engineering and Science Bilkent University, 2010. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/52923875.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2021

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Revista FLORESTA**, Paraná: Universidade Federal do Paraná, v.34, p.237-241, 2004. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2402/2010>>. Acesso em: 29 jul.2021

BANTA, R. M.; OLIVIER, L. D.; HOLLOWAY, E. T.; KROPFLI, R. A.; BARTRAM, B. W.; CUP, R. E.; POST, M. J., Smoke-Column Observations from Two Forest Fire Using Doppler Lidar and Doppler Radar. *In: Journal of Applied Meteorology*, vol 31, p.p. 1328-1349, 1992. Disponível em: <<https://cutt.ly/2Wpq85w>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm>. Acesso em: 23 ago.2021.

_____. **Decreto no 97.635**, de 10 de abril de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97635.htm>. Acesso em: 25 ago.2021.

CASTRO, C. F.; SERRA, G.; PAROLA, J.; REIS, J.; LOURENÇO, L.; CORREIA, S. **Combate a incêndios florestais**. Escola Nacional de Bombeiros. 2º Ed. v. XIII. Sintra, 2003. Disponível em: <<https://cutt.ly/MWpq2b8>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

COCHRANE, M.A. Fire science for rainforests. **Nature** 42: 913-919. 2003.

CORREIA, T. A. **RSSF para detecção de incêndios florestais em tempo real**. 95f. 2017. Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC- CAMPINAS). Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações). São Paulo. 2017. Disponível em: <<https://cutt.ly/oWpqB46>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

CRUZ, H.; ECKERT, M.; MENESES, J.; MARTINEZ, J.F. Efficient forest fire detection index for application in unmanned aerial systems (UASs). **Sensors**, v.16, n.6, p.893, 2016. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/16/6/893>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

EBERHARD, W.L. **Eye-safe tracking of oil fog plumes by UV Lidar**. *Applied Optics*. n.22, p. 2282-2285, 2003. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18196125/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

FROMM, M.; ALFRED, J.; HOPPEL, K.; HORNSTEIN, J.; BEVILACQUA, R.; SHETTLE, E.; SERVIRANCKX, R.; LI, Z.Q.; STOCKS, B. Observations of boreal fire smoke in the stratosphere by POAM III, SAGE II and lidar. **Geophysical Research Letters**. 2000 (27) p. 1407-1410). 2000. Disponível em: <<https://cutt.ly/UWpqCr7>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GANDIA, A.; CRIADO, A.; RALLO; M. El Sistema Bosque: Alta Tecnologia em Defensa del Medio Ambiente. *DYNA*, pp.34-38, n. 6 – (1994).

GFMC - GLOBAL FIRE MONITORING CENTER. Global Cooperation: **Regional South America Wildland Fire Network**. Disponível em: <<https://cutt.ly/3WpqKKq>>. Acesso em: 22 set. 2019.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª edição. São Paulo: Editora Atlas S.A. – 2010. Disponível em: <<https://cutt.ly/vWpqG9I>>. Acesso em: 20 julho 2021.

INFOQUEIMA. **Boletim mensal de monitoramento e risco de queimadas e incêndios florestais**. INPE: MT. v.06, n.06, jun 2021. Disponível: <<https://cutt.ly/GWpqS17>>. Acesso: 20 ago. 2021.

INFOQUEIMA. **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/>. Acesso em: 10 set. 2021.

INFOQUEIMA. **Perguntas Frequentes**. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 10 set. 2021.

LEMOS, A. F.; JUNIOR, E. E.; BEZERRA, F. W. B.; ZALUAR, H. L. T.; DAU, J. Z. R.; FARIA, L. P.; MOTTA, M. S.; WILLMERSDORF, O. R. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBIO). Brasília – DF. 2010. Disponível em: <<https://cutt.ly/3WpqOxq>>. Acesso em 30 jul 2021.

LIMA, G. S.; BATISTA, A. C. **Efeitos do fogo no ecossistema**. *Estudos de Biologia*, Curitiba, n. 31, p. 5 - 16, jan. 1993.

LLORET, J.; GARCIA, M.; BRI, D.; SENDRA, S. **A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification**. *Sensors*, v. 9, n.11, p. 8722-8747, 2009. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22291533/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

LORENZ, E.; SKRBEK, W.; JAHN, H. **Design and analysis of a small bispectral infrared push broom scanner for hot spot recognition**. *Proc. SPIE 06/1997 Vol. 3063*, p. 290-297 1997. Disponível em: <<https://cutt.ly/yWpqTo1>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

LUSTOSA, M. Projeto **Liowsn** - Um sistema operacional para trabalhos com RSSF. Universidade Federal do Ceará. 2014. Disponível em: <<https://cutt.ly/fWpqWj5>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

MARTINS, G.A; PINTO, R.L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo: Atlas, 2001.

MOLINA-PICO, A.; CUESTA-FRAU, D.; ARAUJO, A.; ALEJANDRE, J.; ROZAS, A. Forest monitoring and wildland early fire detection by a hierarchical wireless sensor network. **Journal of Sensors**, v.4, 1-8p. 2016. Disponível em: <<https://cutt.ly/7WpqnA6>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

NASA. **MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**. USA National Aeronautics and Space Administration. 1999, Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

NAKAU, K.; FUKUDA, M.; KUSHIDA, K.; HAYASAKA, H.; KIMURA, K.; TANI, H. **Forest Fire Detection Based on MODIS Satellite Imagery and Comparison of NOAA Satellite Imagery with Fire Fighters Information**. 2006. Disponível em: <<https://cutt.ly/YWpquO>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

NOGUEIRA, G.S.; RIBEIRO, G.S.; RIBEIRO, C.A.A.; SILVA, E.P. Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.363-369, 2002. Disponível em:< <https://cutt.ly/IWpqk1t>>. Acesso em: 14 ago.2021.

OLLERO, A., DIOS, J. R. M., ARRÚE, B.C. **Integrated systems for early forest-fire detection**. III International Confer. on Forest Fire Research 14th Conference on Fire and Forest Meteorology VOL II, pp 1977-1988, luso, 16/20 November 1998. Disponível em: <<https://cutt.ly/wWpqgSs>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

PREVFOGO/IBAMA. “**Plano de Prevenção aos Incêndios Florestais**” – Parque Nacional do Monte Pascoal. Itamaraju, outubro de 2005.

PREVFOGO/IBAMA. “**Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional da Serra da Bocaina – RJ**”. 2005.

RAMOS, P. C. M. **Manual de operações de prevenção e combate aos incêndios florestais: comportamento do fogo**. Brasília: IBAMA, 60p. .2004.

RAZAFIMPANILO, H.; FROUIN, R.; IACOBELLIS, S. F.; SOMERVILLE, R. C. J. **Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data**. *Remote Sens. Environ.* 54:273-289, 1995. Disponível em: <<https://cutt.ly/CWpqsT5>>. Acesso em: 24 ago. 2021.

RIBEIRO, G. A. **Formação e Treinamento de Brigada de Incêndio Florestal**. Viçosa: CPT, 182 p., 2002.

SARAIVA, E.A. **Deteção de incêndios florestais e queimadas com radar meteorológico**. 139f. 2011. Universidade Federal do Paraná. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curitiba, 137f. 2011. Disponível em: < <https://cutt.ly/YWpqiFT>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

SILVA NETO, M. **Traduzindo imagens de drones**. DronEng. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/traduzindo-imagens-de-drones/>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba, 195p. 2004.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba, R. V. Soares e A. C. Batista editores, 250p, 2007.

SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÃO FLORESTAL (SIF). **LiDAR: tecnologia de ponta aplicada às florestas**. 28/05/2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/AWpqrJG>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SCHUMMACHER, M.V.; DICK, G. **Incêndios Florestais**. 3ªEd. Revisada. UFSM: Departamento de Ciências Florestais. Santa Maria - RS. n.13, 153p. Disponível em: <<https://cutt.ly/gWo69JQ>>. Acesso em:30 jul. 2021.

SYSFOREST. **Sistema de Monitoramento Florestal**. 2018. Disponível em: < <https://cutt.ly/9Wo6699>>. Acesso em: 26 ago. 2021.

TETTO, A.F.; BATISTA, A.C.; PIVOVAR, C. Manejo da biomassa pós-colheita como forma de prevenção aos incêndios florestais. In: **Seminário de Atualização em Sistemas de Colheita e Transporte Florestal**, 15., 2008, Curitiba. Anais... Curitiba: FUPEF-PR. p.286, 2008.

TORRES, F.T.P.; LIMA, G.S.; OLIVEIRA, E.R.S.; LOURENÇO, L.F.; FÉLIX, F.R.F.; RIBEIRO, G.A.; FONSECA, E.M.B. **Manual de Prevenção e Combate de Incêndios Florestais**. Viçosa- MG, 178p. 2020. Disponível em: <<https://cutt.ly/QWo6MyP>>. Acesso em: 30 jul.2021.

UNEWISSE, M. H; CRAIG, B. I; WATSON, R. J; REINHOLD, O.; LIDDIARD, K. C. **Growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection** Proc. SPIE 09/1995 Vol. 2554, p. 43-54 1995. Disponível em: < <https://cutt.ly/IWo6ViQ>>. Acesso em: 25 ago.2021.

UTKIN, A. B.; FERNANDES, A.; SIMÕES, S.; LAVROV, A.; VILAR, R. Feasibility of forest fire smoke detection using lidar. **International Journal of Wildland Fire**. n.12, p. 159-166., 2003. Disponível em: < <https://cutt.ly/uWo6LEz>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

VÉLEZ, R. (Coord.) **La defensa contra incendios forestales: fundamentos e experiências**. Madrid: McGraw-Hill, 2000.

VENTURI, N. L.; ANTUNES, A. F. B. Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. **Revista Floresta**, v. 37, n. 2, 2007.

VOSGERAU, J.L.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; GRODZKI, L. **Avaliação dos registros de incêndios florestais do Estado do Paraná no período de 1991 a 2001**. Floresta, Curitiba, v.36, n.1, p.23–32, 2006. Disponível em: < <https://cutt.ly/jWo6G0u>>. Acesso em: 30 set 2019.

WHITMORE, T.C. **An introduction to tropical rain forests**. Oxford, Oxford University Press. 1990.

YUAN, C.; ZHANG, Y.; LIU, Z. A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. **Canadian Journal of Forest Research**, v.45, n.7. p. 783–792, 2015. Disponível em: < <https://cutt.ly/RWo6SF6> >. Acesso em: 25 ago. 2021.

YUAN, C.; GHAMRY, K.A.; LIU, Z.; ZHANG, Y. Unmanned Aerial Vehicle Based Forest Fire Monitoring and Detection Using Image Processing Technique. **IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference**. Nanjing – China. p. 12-14, 2016. Disponível em: < <https://cutt.ly/NWo6IPi> >. Acesso em: 25 ago. 2021.

YU, L.; WANG, N.; MENG, X. Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. In: **Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WCNM'05)**, p. 1214–1217, September 2005. Disponível em: < <https://cutt.ly/FWo6zMC> >. Acesso em: 25 ago. 2021.

ZHU, Y.; XIE, L.; YUAN, T. Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network. In: **Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA'10)**, 2012. Disponível em: < <https://cutt.ly/sWo6ntI>>. Acesso em: 25 ago. 2021.