

UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE PARA ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E ELABORAÇÃO DOS LAUDOS PERICIAIS

João Eduardo Schwabe Cardozo¹

João Rudini Sturm²

RESUMO

Este artigo estuda a possibilidade de utilização das imagens de satélite para análise da propagação dos incêndios florestais e elaboração dos laudos periciais. Trata inicialmente dos conceitos básicos relacionados ao incêndio florestal, abordando definições e elencando as principais causas de surgimento. Em seguida, o foco é dado à predisposição do Estado de Santa Catarina para a ocorrência de incêndios em vegetação, fato este que estimulou o estudo da referida temática. Na sequência, discorre-se sobre o software *TerraMA2Q* do INPE, apontando conceitos e características do sistema de monitoramento e alerta para queimadas. Aborda-se também algumas concepções acerca do programa “Queimadas” do INPE, indicando a sua finalidade para a coordenação e gerenciamento de dados no tocante ao surgimento de focos de calor. Além disso, estuda-se a possibilidade de utilização dos satélites polares e geoestacionários *NOAA* e *GOES* para acompanhamento dos incêndios florestais e utilização de suas imagens na produção dos laudos periciais. Na conclusão, constata-se a inviabilidade do uso daqueles satélites na atividade de investigação de incêndios florestais pelo CBMSC, em virtude de fatores técnicos e metodológicos relacionados ao imageamento. Sugere-se, por fim, que trabalhos futuros versem sobre o aproveitamento dos RPAs/Drones no monitoramento dos incêndios em matas e na captação de imagens de alta resolução.

Palavras-chave: Incêndio florestal. Imagens de satélite. Monitoramento. Laudo pericial.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os incêndios florestais transpassa as fronteiras dos países, na medida em que é considerado um problema de escala global. Muito mais do que prejuízos de ordem financeira, os incêndios em matas e florestas carregam consigo danos imensuráveis à

¹ Cadete Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão, graduado em Administração pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL (2013), tecnólogo em Segurança Pública pelo Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí – UNIDAVI (2011) e especialista em Gestão do Meio Ambiente: Políticas Públicas, Direito e Análise Ambiental pela Faculdade Dom Bosco (2012). E-mail: schwabe@cbm.sc.gov.br

² 1º Tenente Bombeiro Militar, Perito em Incêndio e Explosão, graduado em Física pelas Faculdades Integradas de Palmas – FACIPAL (2003), especialista em Matemática e Física pela Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Paranavai – FAFIPA (2006) e Oficial pelo Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina – CBMSC (2014). E-mail: rudini@cbm.sc.gov.br

biodiversidade e aos ecossistemas. Segundo Parizotto (2006), os incêndios florestais, nos últimos anos, provocaram grandes perdas materiais e ambientais, com destruição de partes importantes de ecossistemas e exposição do solo, o qual passa a sofrer os efeitos da erosão, causando a sua degradação e o assoreamento de rios e lagos.

A nível Brasil, o Estado de Santa Catarina não foge da realidade acima descrita. Além das condições climáticas contribuírem para o desenvolvimento de incêndios florestais, tem-se a irresponsabilidade humana no tocante ao mal uso da técnica de queimadas como outro fator que impulsiona a ocorrência desses incêndios. Segundo Silva (2012), de 2006 a 2010 o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina - CBMSC atuou no combate de 2.142 incêndios florestais, compreendidos em florestas nativas, áreas de preservação permanente e reflorestamento. Esses números representam uma média de 428,4 ocorrências/ano em Santa Catarina.

Analisando os fatos narrados acima, e considerando o setor de Celulose e Papel como uma das vocações econômicas mais importantes da Serra Catarinense e de outras regiões, o que implica em o Estado possuir a segunda principal área plantada no Brasil com pinus, percebe-se a constante preocupação que o CBMSC deve ter quanto ao surgimento de grandes incêndios florestais. Não só por ser o responsável pelo combate direto às chamas, mas por ter incumbência legal quanto à perícia de incêndio e de áreas sinistradas no limite de sua competência, conforme preconiza o Art. 108 da Constituição do Estado de Santa Catarina.

Dito isso, é mister que o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina evolua no tocante a modernização de equipamentos e de técnicas relacionadas a atividade operacional de combate a incêndio florestal e aos seus respectivos laudos periciais. Nessa toada, destaca-se a utilização das imagens de satélite para acompanhamento da propagação dos incêndios em matas. Deste modo, permite-se melhorar o gerenciamento do combate e estabelecer um antes e depois da ocorrência, o qual facilitaria o estabelecimento da zona de origem e a identificação da possível causa do incêndio.

Nesse sentido, o objetivo do presente artigo científico é verificar a possibilidade do uso das imagens de satélite com o propósito de acompanhar o desenvolvimento dos incêndios florestais e auxiliar na elaboração dos respectivos laudos periciais emitidos pelo CBMSC. Para tanto, utilizou-se da metodologia de pesquisa proposta por Lakatos e Marconi (2003). Desta forma, este trabalho se classifica quanto à lógica de pesquisa, em dedutiva e, quanto à abordagem do problema, em qualitativa.

Quanto à natureza, pode-se classificar a pesquisa deste trabalho como aplicada, e em relação aos objetivos, em exploratória e explicativa. No que tange aos procedimentos, Fonseca (2002) afirma que a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, o qual permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Diante disso, afirma-se que este trabalho se baseou na busca de informações sobre utilização das imagens de satélite para análise da propagação dos incêndios florestais e elaboração de laudos periciais, as quais puderam ser encontradas em fontes bibliográficas e documentais. Além disso, foram consultados especialistas e usuários de geoprocessamento remoto, os quais puderam auxiliar e enriquecer a construção deste trabalho.

No intuito de propiciar um melhor entendimento ao leitor acerca do tema em pauta, o desenvolvimento do trabalho científico foi dividido em 5 (cinco) partes. Do geral ao específico, primeiramente dar-se-á ênfase aos conceitos que concernem os incêndios florestais. Após a devida compreensão, será explanado um dos motivos que impulsiona a pesquisa deste artigo, o qual refere-se a predisposição do Estado de Santa Catarina quanto ao surgimento de ocorrências de incêndio em vegetações. Concluída essa parte inicial, dar-se-á início ao levantamento de informações dos softwares e satélites existentes que possibilitam, dentre outras funções, o monitoramento de incêndios florestais através da captação de imagens e da detecção de focos de calor, como por exemplo os programas *TerraMA2Q* e “Queimadas” do INPE e os satélites classe *NOAA* e *GOES*. Por fim, com base nos estudos levantados durante a produção do artigo, será possível determinar até que ponto as imagens de satélites podem ser úteis à atividade de investigação de incêndios florestais realizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

2 INCÊNDIOS FLORESTAIS

O incêndio florestal pode ser definido como o fogo sem controle sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser decorrente de causa humana ou natural. Esses incêndios se comportam de acordo com o ambiente e tipo de vegetação em que se desenvolvem. O número de fatores externos que influem no comportamento do fogo é tão grande que é impossível prever com precisão o que acontecerá quando se inicia um fogo (FREIRE, 2005).

Fonseca e Ribeiro (2003) definem incêndios florestais como a ocorrência de fogo em qualquer forma vegetativa, cujas causas vão de naturais a criminosas, podendo também estar

associadas a forma acidental e, portanto, inesperada pelo proprietário ou responsável pela área atingida.

Conforme Vieira (2011), os agentes causadores dos incêndios florestais podem ser determinados como naturais ou antrópicos. Dentre os naturais, destaca-se a ação direta ou indireta de descargas atmosféricas (raios), sendo estes os responsáveis pelo surgimento da grande maioria dos incêndios em vegetação de forma natural. Além disso, a doutrina traz como agente causador natural as reações fermentativas exotérmicas relacionadas a fungos e a concentração de raios solares por pedaços de quartzo ou cacos de vidro em forma de lente. Vale ressaltar que os sinistros provenientes de causa natural são os únicos que não constituem responsabilidade humana, sendo sua prevenção praticamente impossível.

Segundo Phillip (2007), as principais causas de natureza antrópica são apresentadas a seguir:

- Incendiários – incêndios provocados intencionalmente por pessoas com problemas mentais, por vingança ou por vandalismo, em propriedades alheias;
- Queimas para limpeza – incêndio originário do uso do fogo na limpeza de terreno seja para fins florestais, agrícolas ou pecuários, e que tenha escapado ao controle;
- Fumantes – incêndios provocados por fósforos ou pontas de cigarro aceso;
- Estradas de ferro – incêndios causados direta ou indiretamente pelas atividades ferroviárias;
- Operações florestais – incêndios originados por trabalhadores florestais em atividades nas florestas;
- Fogos campestres ou por atividades recreativas – são os incêndios originados de fogueiras feitas por pessoas que estejam acampadas, caçando ou pescando na floresta ou proximidades;
- Diversos – são causas pouco frequentes, que ocorrem esporadicamente e por esta razão não justificam uma classificação especial.

Para Santos (2004), é de suma importância o conhecimento das causas e da frequência dos incêndios florestais. Saber quem, ou o que iniciou o fogo é fundamental para a elaboração dos planos de prevenção e de investigação dos incêndios florestais.

A investigação das causas desses incêndios é de suma importância, haja vista que esses causam danos que podem ser diretos ou indiretos. Os danos diretos incluem a destruição de florestas, perda de biodiversidade, perda da fertilidade dos solos, poluição atmosférica, perda de patrimônio e até, em casos extremos, perda de vidas humanas. Indiretamente, pode causar a morte de vegetação ou animais por ficarem

sem alimento ou abrigo (INSTITUTO CHICO MENDES DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2010).

Diante disso, é obrigação das instituições constituídas e dever de cada cidadão, cientes de que os incêndios florestais constituem um dos fatores que mais contribuem para a redução das florestas em todo o mundo, preservar as florestas nativas, combater a prática ilícita da queima e do desmatamento da cobertura vegetal natural (PARIZOTTO; SILVA; TÊO, 2004).

3 PREDISPOSIÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA QUANTO AO SURGIMENTO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Segundo Júnior (2016), o Brasil chama a atenção pelo fato de que o cultivo das florestas plantadas está crescendo, com projeção de plantio otimista para os próximos anos devido à demanda dos setores madeireiros, moveleiros, energéticos e de celulose. Conforme o mesmo autor, o Ministério da Agricultura em 2010 já estudava aumentar a área das florestas plantadas do Brasil, de 6 para 9 milhões de hectares, até 2020.

O Estado de Santa Catarina vai ao encontro da tendência brasileira. Apresenta vocação para o setor florestal, principalmente nas terras pobres do planalto serrano, impróprias para agricultura de grãos mas adequadas para a silvicultura. As antigas fazendas de gado deram lugar às florestas de pinus e de eucalipto. Segundo Parizotto (2006), nas terras férteis e onduladas do oeste, nasce uma nova fronteira da silvicultura, que se apresenta como alternativa para a crise da agricultura de subsistência e para a impossibilidade de mecanização dos terrenos acidentados.

A área reflorestada de Santa Catarina, que em 2001 era projetada em 350.000 hectares, em 2005 superou todas as projeções, atingindo quase 460.000 hectares, e vem crescendo em um ritmo surpreendente todos os anos (FREY, 2003). Segundo Parizotto (2006), os investimentos pelas empresas do setor de papel e celulose já fazem do Estado de Santa Catarina a segunda principal área plantada com pinus do Brasil, fazendo com que a atividade florestal represente atualmente grande importância para o desenvolvimento econômico do Estado.

Segundo a Associação Catarinense de Empresas Florestais - ACR (2016), o setor florestal de Santa Catarina é o maior exportador de madeira serrada do Brasil. Com 38% das exportações, representa 27% da exportação nacional de chapas compensadas e é o 4º maior exportador de chapas de madeira reconstituída. O setor florestal é o 4º maior gerador de

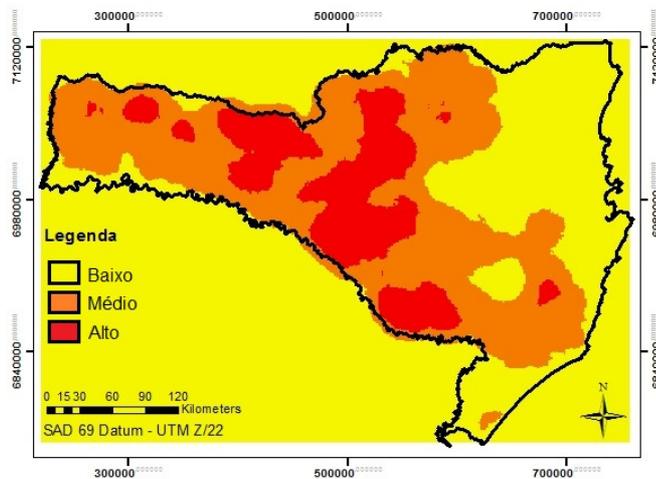
divisas (R\$ 1,63 bilhão) e responsável enquanto setor pelo segundo maior PIB do Estado, ficando atrás apenas do agronegócio.

Dado o exposto, pode-se perceber com clareza que o Estado de Santa Catarina tem no setor florestal uma das suas principais atividades econômicas. Este setor, por sua vez, cresce anualmente, o que reflete no aumento do tamanho das áreas de florestas plantadas no solo catarinense. Contudo, a maioria das espécies cultivadas é exótica, destacando-se o pinus e o eucalipto, e possuem alta inflamabilidade. Este fato desperta a preocupação do CBMSC frente a possibilidade de surgimento de incêndios florestais nessas regiões, principalmente nas áreas de cultivo próximas aos centros urbanos, fazendo-se necessário a implementação de tecnologias que propiciem o acompanhamento da propagação dos incêndios e auxiliem na elaboração dos laudos periciais.

Outro ponto, conforme Schaffer (2018) o Estado de Santa Catarina tem hoje 41,4% (3.967.603 ha) de cobertura vegetal nativa. Esta vegetação é um patrimônio considerável que coloca Santa Catarina numa posição ainda privilegiada entre os estados brasileiros da Mata Atlântica. Embora em condições normais elas sejam florestas úmidas, com pouca predisposição ao fogo, em períodos de estiagem pós geadas as vegetações ressecam e podem servir de campo para incêndios sem precedentes. Exemplo disso foi o incêndio florestal ocorrido no Estado do Paraná em 1963, o qual atingiu 128 cidades, ceifou a vida de 110 pessoas e consumiu pelas chamas cerca de 10% do território paranaense.

Um estudo produzido por Letti (2012), com base em focos de incêndios observados por imagens de satélite e tratados em programas computacionais, teve como resultado a confecção de um mapa de riscos de incêndio florestal para o Estado de Santa Catarina. O mapa ilustra que a área de maior risco de incêndios florestais está localizada no centro do Estado, entre as cidades de Lages e Otacílio Costa; no meio oeste, as cidades de Joaçaba e Caçador são as que correm maiores riscos, enquanto que, no extremo oeste, o risco maior está próximo às cidades de Irati e Campo Erê.

Figura 1: Zoneamento de risco de incêndios florestais.



Fonte: Letti (2012)

Apesar de ser um estudo voltado à prevenção, percebe-se que a utilização de tecnologias de geoprocessamento remoto, ou seja, satélites de monitoramento, propiciam um melhor entendimento das nuances que abarcam os incêndios florestais. Diante disso, nos próximos capítulos serão abordados conceitos relativos aos softwares *TerraMA2* e *TerraMA2Q* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, componente do Programa “Queimadas”, como também acerca dos satélites classe *NOAA* e *GOES*, a fim de analisar a aplicabilidade das imagens desses dispositivos no acompanhamento da propagação dos incêndios florestais e na elaboração dos laudos periciais.

4 SOFTWARE *TERRAMA2* E *TERRAMA2Q*: CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais vem desenvolvendo e aprimorando desde 2006 a plataforma *TerraMA2*, com o objetivo de desenvolver e disseminar uma plataforma de monitoramento, análise e alerta a extremos ambientais para subsidiar a tomada de decisões de gestores ambientais. De acordo com SelperBrasil (2019), o software *TerraMA2* permite coletar e cruzar em tempo real os dados geoambientais com mapas de riscos e vulnerabilidade ambientais, com o objetivo de gerar alertas para diversas aplicações, inclusive desastres naturais.

A plataforma *TerraMA2* possui diversas capacidades de aplicação. Dentre elas, destacam-se o monitoramento da qualidade do ar, da qualidade da água, dos gasodutos, das barragens de rejeito em área de mineração, de incêndios florestais, de movimentos de massa

do tipo escorregamentos e corridas de lama, de enchentes e estiagens, entre outras. Segundo Oliveira (2017), a 4ª versão da plataforma teve seu lançamento em 2017. Esta versão foi desenvolvida dentro do projeto “Programa Cerrado”, sendo que um de seus produtos foi a construção do sistema de monitoramento e alerta para queimadas fazendo uso da plataforma *TerraMA2*, denominado *TerraMA2Q*.

Segundo Pierro (2018), o software *TerraMA2Q* adapta os dados de monitoramento de queimadas às necessidades de cada usuário, dando mais autonomia para gestores municipais e estaduais acompanharem a ocorrência de fogo irregular. Este programa também possibilita a verificação em tempo real da situação de uma região, integrando dados fornecidos por satélites com informações meteorológicas ou a localização de carros de bombeiros. Além disso, de acordo com Maria Amélia Maciel, gerente de Informações e Inteligência Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Tocantins, conforme citado por Pierro (2018), o novo software *TerraMA2Q* possibilita identificar a chamada “cicatriz do fogo” com mais exatidão, isto é, medir o seu impacto na biodiversidade e na vegetação.

Portanto, infere-se com as informações supracitadas que a plataforma *TerraMA2* é um sistema computacional, baseado em uma arquitetura de serviços aberta, que provê a infraestrutura tecnológica necessária ao desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas de riscos ambientais. Neste caso, quanto ao programa *TerraMA2Q*, percebe-se que esta tecnologia é extremamente útil para o monitoramento dos incêndios florestais no sentido do levantamento de dados para mapeamento de focos de calor com fins estatísticos, gerenciais e preventivos, como também para auxiliar os gestores na tomada de decisão em eventos de queimadas e incêndios. Contudo, quanto à utilização de suas imagens para acompanhamento da propagação dos incêndios florestais e elaboração dos laudos periciais não se verifica a possibilidade, haja vista a insatisfatória qualidade de resolução das fotografias quando aproximadas e o período dilatado de atualização dos monitoramentos por satélites.

Considerando que o software *TerraMA2Q* está intimamente ligado com os incêndios florestais, além do fato de estar contido no programa “Queimadas” do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no próximo capítulo serão abordadas algumas características importantes sobre o referido programa e que podem ser proveitosas para a atividade de investigação em incêndios florestais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

5 PROGRAMA “QUEIMADAS” DO INPE

De acordo com Portal Brasil (2017), desde a década de 1980 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, empenha-se em ações de monitoramento para identificação de queimadas no País. Atualmente, o programa “Queimadas” – Monitoramento por Satélites (InfoQueima) consegue identificar incêndios em todas as regiões brasileiras.

Segundo Alberto Setzer, coordenador do monitoramento de queimadas do INPE, conforme citado por Portal Brasil (2017), o programa foi crescendo à medida que as tecnologias foram melhorando, com satélites mais precisos e com acesso a dados em tempo real. O coordenador alerta que o monitoramento de queimadas em imagens de satélites é imprescindível num país como o Brasil, com dimensões continentais e muitas regiões remotas, sem meios intensivos de acompanhamento.

Conforme Pierro (2018), o programa “Queimadas” atualiza dados a cada três horas, todos os dias do ano. No total, são processadas cerca de 250 imagens por dia, enviadas de 10 satélites estrangeiros. O programa consolida todas as informações em um relatório diário automático, com tabelas e gráficos que permitem o uso inteligente das informações para trabalhos de combate aos incêndios, especialmente por grupos de brigadas de bombeiros e por secretarias de meio ambiente.

No quesito investigação de incêndios florestais, as imagens provenientes de satélites podem auxiliar em muito os peritos e inspetores na busca pela identificação das causas dos incêndios em matas e pela determinação da zona de origem do sinistro. Além disso, o uso das fotografias está inserido na metodologia de investigação de incêndios do CBMSC.

As fotografias ou figuras anexadas compõem o relatório, mostrando aspectos que substituem a descrição. Portanto, deve-se ter em mente que a sua qualidade terá grande influência para o conhecimento do incêndio por terceiros. As fotografias devem mostrar fielmente o material queimado e a existência dos objetos e seus estados. Elas são relevantes na medida em que complementam o relatório elaborado pelo investigador (ACORDI, 2015a).

Ferramentas de mapeamento por satélite podem fornecer informações sobre as condições de combustível e atividade na área antes do incêndio. As fotografias da área queimada, feitas de uma tomada aérea, muitas vezes se provam de valor inestimável na visualização e delimitação das áreas queimadas, a direção de propagação do fogo e intensidade deste, em um determinado local e momento (NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, 2011).

De acordo com Sturm (2015), um fator que diferencia a perícia de incêndio em edificação e a florestal é a área afetada. Incêndios em vegetação possuem áreas calcinadas muito maiores que aqueles em edificações. Nessa toada, as imagens de satélite poderiam tornar-se uma excelente ferramenta para delimitar a zona de origem e para estabelecer um “antes” e “depois” da ocorrência do incêndio, proporcionando coletas de informações precisas acerca do ocorrido e favorecendo uma melhor construção dos documentos investigativos.

No próximo capítulo, será desenvolvida uma análise dos satélites mais comumente utilizados para monitoramento (*NOAA* e *GOES*) a fim de verificar a aplicabilidade destes no acompanhamento da propagação dos incêndios em vegetações e de determinar até que ponto podem ser úteis à atividade de investigação em incêndios florestais.

6 SATÉLITES POLARES E GEOESTACIONÁRIOS CLASSE NOAA E GOES

O INPE recebe cerca de 250 imagens por dia, enviadas de 10 satélites estrangeiros. Parte deles é de satélites geoestacionários, como o *GOES-16*, que orbita a Terra a 36 mil quilômetros da superfície. Os demais são os de órbita polar (*NOAA*) e estão a 850 km de altitude. Por estarem mais distantes, os geoestacionários costumam produzir imagens com resolução mais baixa, de 2 km. A vantagem é que esses satélites enviam imagens a cada 15 minutos e conseguem detectar queimadas de grandes proporções, como incêndios florestais que podem se propagar por dezenas de quilômetros.

Conforme Pereira (2009) os focos de calor fornecidos pelo INPE e utilizados para monitoramento das queimadas são gerados a partir de diferentes metodologias que utilizam imagens de sensores a bordo dos satélites polares da série *NOAA* e dos satélites geoestacionários *GOES*, por exemplo. Estes satélites, dentre outros, possuem tanto finalidades meteorológicas quanto características espaciais, temporais e espectrais distintas. O sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer*, ou *AVRHRR*, é o principal instrumento dos satélites polares *National Oceanic and Atmospheric Administration*, ou *NOAA*. Trata-se de uma série de satélites lançados, e cada um passa pelo mesmo local uma vez a cada doze horas. Já os satélites da série *GOES* são de órbita geoestacionária e cobrem todo o globo com a finalidade de fazer previsões meteorológicas. O satélite gira a cem rotações por minuto e, em cada rotação, um radiômetro varre a superfície terrestre de oeste para leste, podendo gerar até 96 imagens diárias.

Segundo Alberto Setzer, citado por Portal Brasil (2017), para detectar as queimadas geralmente o monitoramento utiliza as imagens produzidas pela banda termal do sensor, que capta comprimentos de onda capazes de mostrar a temperatura de uma certa localidade. Emissões termais de atividades industriais, como os fornos utilizados na produção de aço em siderúrgicas, também se destacam. Em vista disso, o autor afirma ser preciso fazer uma filtragem das imagens dos satélites antes de determiná-las como uma possível ocorrência de incêndio.

As imagens captadas pelos satélites são subdivididas em pixels, os quais variam dependendo das características polares ou geoestacionárias destes. Os dados dos satélites geoestacionários (*GOES*) possuem um tamanho muito grande de seus pixels (16 km²), os quais acabam gerando instabilidades e limitações em suas detecções. Para os satélites de órbita polar (*NOAA*), trabalhos de validação de campo indicam que uma frente de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura, ou maior, será detectada, tendo em vista a resolução espacial (pixel) do satélite ser de 1 km². Contudo, apesar de os satélites *GOES* ficarem muito distantes da Terra (aproximadamente 30.000 km) e terem pixels grandes, produzem imagens a cada 15 minutos, ao passo que os polares da classe *NOAA* produzem apenas duas capturas diárias, a cada 12 horas.

Segundo INPE (2011), os sensores presentes nos satélites conseguem detectar apenas a existência de fogo na vegetação dentro de determinado pixel, sem ter condições de avaliar o tamanho da área que está queimando ou o tipo de vegetação afetada. Detalhes precisos do que está queimando e quanto queimou são informações impossíveis de se obter com os sensores atuais. Outrossim, segundo INPE (2011), vale ressaltar que as seguintes condições impedem ou prejudicam muito a detecção das queimadas:

- Frentes de fogo com menos de 30 m;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores;
- Nuvens cobrindo a região;
- Queimada de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis;
- Fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
- Imprecisão na localização do foco de queima, que no melhor caso é de cerca de 1 km, mas podendo chegar a 6 km.

Os dados captados pelos satélites são processados pelo INPE e divulgados na internet, sem custo para o usuário, cerca de três horas após sua geração. Segundo INPE (2011), para

usuários que necessitam de dados com mais rapidez e confiabilidade, e produtos especialmente desenvolvidos, é necessário firmar contrato de fornecimento específico com o instituto, com custo a ser definido individualmente.

A detecção de possíveis ocorrências de incêndios florestais pelos satélites *GOES* e *NOAA*, dado por si só extremamente importante e válido, apenas são divulgados em tempo “quase” real pelo INPE, com um *delay* de recebimento e processamento de imagens de três horas. Desta forma, é possível apenas gerenciar as ocorrências de surgimento de focos de calor pelos usuários após três horas da captura e manipulação das imagens. Outrossim, a resolução das fotografias obtidas pelos satélites meteorológicos são precárias, não sendo possível a sua visualização e aplicação com fins periciais, servindo somente para a análise e representação de possíveis focos de calor.

Apesar da utilização das imagens de satélite limitarem-se ao gerenciamento de focos de calor, verifica-se sua utilidade no mapeamento do local incendiado. Desta forma, as imagens captadas pelos satélites podem ser aplicadas com o propósito de analisar o “antes” e “depois” do incêndio florestal, no intuito de constatar a área de queima e localização do sinistro.

Figura 2: Satélites do INPE demonstram área incendiada de 130.000 hectares na reserva do Parque das Emas.



Fonte: Agência Espacial Brasileira (2010)

Conforme contato com empresas privadas do ramo de geotecnologia, dentre elas a Engesat – Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento, constatou-se que não existe ainda um sistema de monitoramento por satélites que proporcione a observação da Terra de 30 a 80 metros de resolução em tempo real, condição esta sine qua non para o acompanhamento

da propagação dos incêndios florestais e para a utilização das imagens na elaboração dos laudos periciais. Conforme a referida empresa, satélites de boa resolução espacial possuem uma frequência de 6 a 12 horas, ou seja, na melhor das hipóteses a imagem pode ser captada de manhã e disponibilizada a tarde ao cliente.

Além disso, vale ressaltar que o custo de aquisição deste tipo de serviço é extremamente elevado. Por meio de solicitação de orçamento formal via correio eletrônico à empresa Engesat, verificou-se que para a área de interesse do usuário ser imageada o mais rapidamente possível, serão realizadas 3 tentativas sobre o local até obter menos de 10% de nuvens. Para isso, a área da zona de interesse mínima a ser imageada deve ser de 100 km², o que acarretará em um dispêndio total de R\$ 72.600,00.

7 CONCLUSÃO

Neste artigo, verificou-se que ferramentas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas têm sido amplamente utilizadas no setor florestal, seja para planejamento de atividades ou para elucidar questões ecológicas. No âmbito dos incêndios florestais, essas ferramentas auxiliam em atividades ligadas a mapeamento de risco e monitoramento de focos de calor.

No transcorrer do desenvolvimento científico, angariou-se informações sobre os mais importantes softwares computacionais e satélites orbitais e geoestacionários que se relacionam com o campo da supervisão de alertas ambientais. Dentre esses, destacam-se o programa *TerraMA2Q* e os satélites *NOAA* e *GOES*, os quais são amplamente utilizados no levantamento de dados sobre focos de calor existentes na superfície terrestre brasileira.

Contudo, na seara da análise da propagação dos incêndios florestais, constatou-se a impossibilidade da utilização das imagens de satélites. Identificou-se que as características de captação de imagem, a distância da superfície terrestre e o alongado período de processamento e atualização das fotografias, impossibilitam a aplicação dessas na avaliação do comportamento do fogo e na observação do sentido de propagação da queima em tempo real. A utilidade das imagens de satélite limitam-se ao gerenciamento de focos de calor e ao mapeamento do local incendiado, estabelecendo um “antes” e “depois” do sinistro florestal.

Além disso, provou-se que a deficiência das imagens captadas pelos satélites *NOAA* e *GOES* quanto a resolução fotográfica, nível de nitidez de detalhes e a extensa área superficial de registro, inviabiliza o aproveitamento dessas ilustrações como parte integrante probatória

dos laudos e informes periciais do CBMSC na identificação da zona de origem do incêndio florestal.

Por fim, como este artigo limitou-se a abordar unicamente a possibilidade do uso das imagens de satélite a fim de acompanhar a propagação dos incêndios florestais e auxiliar na elaboração dos laudos periciais, sugere-se que trabalhos futuros possam versar sobre o aproveitamento dos RPAs/Drones no monitoramento dos incêndios em matas e na captação de imagens de alta resolução, na medida em que também constituem ferramentas valiosas ao Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

REFERÊNCIAS

ACORDI, Charles Fabiano. **Apostila de metodologia da investigação de Incêndios**. In: Curso de Perícia em Incêndio e Explosão. Florianópolis-SC, 2015a.

ACR. Associação Catarinense de Empresas Florestais. **ACR 40 anos de história no desenvolvimento florestal catarinense**. Disponível em: <https://issuu.com/acr29/docs/revista_acr_40_anos>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2019.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Satélites mostram com precisão área queimada no Parque das Emas**. 2010. Disponível em: <<http://portal-antigo.aeb.gov.br/satelites-mostram-com-precisao-a-area-queimada-no-parque-das-emas/>>. Acesso em: 19 de março de 2019.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da pesquisa científica**. Ceará: Universidade Estadual do Ceará, 2002.

FONSECA, E. M.B; RIBEIRO, G. A. **Manual de prevenção e controle de incêndios florestais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2003.

FREIRE, Paulo Fernando Bello. **Uso do sistema de informações geográficas para o Mapeamento de focos de calor por incêndios Florestais: um estudo de caso na área do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães - Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil – UFSC. Florianópolis. SC, 2005.

FREY, W. **Reflorestar é a solução**. Curitiba: Sécia. 2003.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. 2011. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília-DF; 2010.

JÚNIOR, Zevir Anibal Cipriano. **A gestão das ocorrências de incêndios florestais com interface urbana para o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Centro de Ciências da Administração e Socioeconômicas – ESAG. Universidade do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

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

LETTI, Carlos Augusto Lopes. **Mapas de zoneamento de risco de incêndios florestais: uma alternativa para o planejamento e controle em Santa Catarina**. Artigo Científico (Curso de Formação de Soldados) - Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

MARTIN, Laurent. **Orçamento referente a aquisição de imagens de satélite**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <laurent.martin@engesat.com> em 01 de fevereiro de 2019.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION et al. **NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations, 2011 edition**. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2011.

OLIVEIRA, Ana Flávia de. **INPE convida para lançamento da plataforma TerraMA2**. MundoGEO. 2017. Disponível em: <<https://mundogeo.com/blog/2017/12/07/inpe-convida-para-o-lancamento-da-plataforma-terrama2/>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

PARIZOTTO, Walter. **O controle dos incêndios florestais pelo Corpo de Bombeiros de Santa Catarina: diagnóstico e sugestões para o seu aprimoramento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Curitiba: 2006. 120p.

PARIZOTTO, W; SILVA, N. F; TÊO, G. **Capacitação para o combate e prevenção de incêndios florestais na região do Alto Irani-SC**. Revista Floresta, Curitiba, V. 34, n. 2, p.113-118, maio/ago. 2004. Disponível em:<<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/2381/1990>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2019.

PEREIRA, Allan Arantes. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de minas gerais**. Dissertação (Mestrado). Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras. Lavras. MG, 2009.

PORTAL BRASIL. **Programa do INPE identifica focos de incêndio pelo País em tempo real**. Governo do Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/meio-ambiente/2017/08/programa-do-inpe-identifica-focos-de-incendio-pelo-pais-em-tempo-real>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019;

PHILIPP, Maurício M. **Análise do perigo de incêndio em municípios do estado de Mato Grosso por meio da Fórmula de Monte Alegre**. 90 f., 2007. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

PIERRO, Bruno de. **Apoio para enfrentar o fogo. Estados começam a utilizar novas ferramentas para analisar dados de queimadas e incêndios florestais**. Revista FAPESP. 2018. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2018/04/19/apoio-para-enfrentar-o-fogo/>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

SANTA CATARINA (Estado). Constituição (1989). **Constituição do Estado de Santa Catarina**. Edição atualizada em Dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.alesc.sc.gov.br/portal_alesc/sites/default/files/CESC_2013_67_e_68_emds.pdf>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2019.

SANTOS, J. F. **Estatísticas de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002**. 2004. 76 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SELPBRASIL. **Plataforma de Monitoramento Ambiental TerraMA2**. Cursos de curta duração. 2019. Disponível em: <http://www.selperbrasil.org.br/cursos/curso_terraMA_sjc.php>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

SHAFFER, Wigold B. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica de Santa Catarina é atualizado**. Apremavi, 2018. Disponível em: <<https://apremavi.org.br/atlas-dos-remanescentes-florestais-da-mata-atlantica-de-santa-atarina-e-atualizado/>>. Acesso em: 06 de março de 2019.

SILVA, Leandro Aparecido Domingos da. **A importância da comunicação dos incêndios florestais pelo CBMSC aos órgãos competentes de sanções**. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) - Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

STURM, João Rudini. **Metodologia para investigação em incêndio florestal**. 2015. 22f. Artigo apresentado como pré-requisito para conclusão do Curso de Perícia em Incêndio e Explosão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

VIEIRA, Fernando Ireno. **Combate a incêndio florestal: determinação do Índice de eficiência global de retardantes químicos de curta e de longa duração e avaliação de seus efeitos sobre a redução da intensidade do fogo em vegetação, em condições de laboratório**. 77f., 2011. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.