



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Classificação de áreas suscetíveis à incêndios na Bacia do Córrego d'Antas, Nova Friburgo (RJ): uma proposta metodológica

Letícia Bolsas¹, Ana Carolina Facadio², Ana Luiza Coelho Netto³

¹ Geógrafa, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: leticiabufri@gmail.com; ² Geógrafa, Ma. e Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e-mail: cfacadio@gmail.com; ³ Professora Titular do Departamento de Geografia da UFRJ, e-mail: ananetto@acd.ufrj.br.

Artigo recebido em 05/11/2021 e aceito em 12/04/2022

RESUMO

Os incêndios são fenômenos naturais que têm se tornado cada vez mais recorrentes em virtude do uso intensivo da terra e das mudanças climáticas em curso. No município de Nova Friburgo, os meses mais secos chegam a ultrapassar 400 ocorrências de incêndios. A análise espacial da suscetibilidade à ocorrência de incêndios permite compreender a trajetória do fogo, sendo uma ferramenta que pode auxiliar no planejamento e gestão territorial para a prevenção e combate desse fenômeno. Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma metodologia para identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de incêndios em nível de detalhe (entre 1:10.000 e 1:5.000), tomando a bacia do Córrego d'Antas (53 km²) como área piloto. A carta de suscetibilidade é o resultado da integração das cartas do potencial de detonação e potencial de propagação. A carta de suscetibilidade demonstrou que 45% da área da bacia está classificada como alta suscetibilidade e que 76% da área queimada ocorreu nessa classe. A sobreposição dos incêndios georreferenciados no período de 2004 a 2010 ressaltou a importância de se levar em conta as condições de detonação e propagação, assim como as relações de vizinhança entre áreas com diferentes potenciais de suscetibilidade aos incêndios.

Palavras-chave: suscetibilidade de terreno, fogo, detonação, propagação, encostas montanhosas

Classification of Fire Susceptible Areas in the Córrego d'Antas Basin, Nova Friburgo (RJ): a methodological proposal

ABSTRACT

Fires are natural phenomena that have become increasingly recurrent due to intensive land use and ongoing climate changes. In the municipality of Nova Friburgo, the driest months come to surpass 400 occurrences of fires. The spatial analysis of the susceptibility to the occurrence of fires allows us to understand the trajectory of fire, being a tool that can help with territorial planning and management for the prevention and combat of this phenomenon. In this context, the present work proposes a methodology for identifying areas susceptible to fire occurrence at the level of detail (between 1:10,000 and 1:5,000), taking the Córrego d'Antas basin (53 km²) as a pilot area. The susceptibility map is the result of the integration of the detonation potential and propagation potential maps. The susceptibility map showed that 45% of the basin area is classified as high susceptibility and that 76% of the burned area occurred in this class. The overlapping of georeferenced fires in the period 2004 to 2010 highlighted the importance of taking into account the detonation and propagation conditions, as well as the neighborhood relationships between areas with different potentials of susceptibility to fires.

Keywords: terrain susceptibility, fire, trigger, fire spread, mountainous slopes.

Introdução

O fogo é um vetor transformador da cobertura vegetal que esteve presente no domínio da Mata Atlântica há pelo menos 12 mil anos A.P. (Jeske-Pieruschka e Ledru, 2016; Coelho Netto *et al.*, 2016). Dean (1996) resalta que essas alterações na floresta tiveram início com os caçadores-coletores e em seguida, com as práticas agrícolas itinerantes dos diferentes povos indígenas, que realizavam queimadas controladas

em pequenas áreas da floresta, distantes entre si, e pousio, permitindo a regeneração da vegetação (Leonel, 2000).

Com a colonização europeia, a Mata Atlântica presenciou ciclos de degradação intensivos associados à sucessivas práticas extrativistas e agrícolas (Dean, 1996). Essas práticas reduziram a Mata Atlântica à pequenos fragmentos florestais, que atualmente representam apenas 13% da área originalmente coberta pelas diversas formações vegetais que compõem o

domínio da Floresta Atlântica (Fundação SOS Mata Atlântica e Inpe, 2021), sendo 80% desses fragmentos florestais menores do que 0,5 km² (Ribeiro *et al.*, 2009). Frente ao histórico do uso do fogo no bioma da Mata Atlântica, Cochrane (2003) expõe que a degradação florestal não está associada apenas com a introdução do fogo nesse ecossistema, mas, sobretudo com a frequência em que a vegetação é submetida aos incêndios. Sansevero *et al.* (2020) ressaltam que essas alterações provocadas pelo fogo recorrente induzem a um processo de savanização do bioma da Mata Atlântica, no qual as comunidades vegetais tendem a exibir alterações estruturais e funcionais mais compatíveis com o Cerrado brasileiro e adaptações à um ambiente suscetível ao fogo.

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) reconhece que as atividades humanas resultaram no aumento da temperatura média global em torno de 1°C no século 21, se comparado aos níveis do período pré-industrial (1850-1900). Nesse cenário, a ocorrência de eventos extremos de calor que possuíam um intervalo de 10 anos entre 1850 e 1900, apresentam uma maior frequência (2,8 vezes em 10 anos) e intensidade (1,2°C mais quente). Alves *et al.* (2020) apontam, a partir de registros históricos (1900-2005) e estimativas futuras (2050-2100), para alterações no regime de chuva em todo o Brasil, com períodos secos mais frequentes e períodos úmidos mais chuvosos. Essas mudanças no regime de chuva associados com as alterações na cobertura vegetal possuem papel fundamental no aumento da probabilidade de incêndios no bioma da Mata Atlântica (Assis Barros *et al.*, 2021).

Em Nova Friburgo, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, a intensa remoção da cobertura florestal teve início no século XIX, com os imigrantes europeus utilizando o fogo como técnica agrícola e instrumento de manejo das matas (Araújo e Mayer, 2003). Nos dias atuais, estudos recentes revelam que os incêndios são fenômenos recorrentes nesse município, sendo levantados 1.427 atendimentos ao combate de incêndios florestais entre 2014 e 2017 pelo 6º Grupamento de Bombeiros Militar, com os meses mais críticos ultrapassando 400 ocorrências (Bolsas *et al.*, 2019). Embora possam ocorrer ao longo do ano, esses incêndios se concentram nos meses entre agosto e outubro, refletindo os efeitos das estiagens prolongadas e da baixa umidade no período entre maio e julho. Esses autores propõem que a origem dessas ignições é, em grande parte, induzida, uma vez que a maioria dos focos registrados nesse

período iniciam em áreas urbanas, no sopé das encostas, e propagam morro acima, especialmente através dos divisores, ou seja, nas porções de menor umidade na interface vegetação-solo.

A suscetibilidade é compreendida como a predisposição do terreno à ocorrência de um determinado fenômeno, se referindo às características intrínsecas da área. Nesse sentido, a avaliação da suscetibilidade consiste na identificação e classificação dessas áreas através de uma análise qualitativa dos fatores que contribuem para a ocorrência do perigo (Julião *et al.*, 2009). Para avaliação da suscetibilidade aos incêndios, deve-se considerar os fatores que controlam a detonação e a propagação do fogo em uma região, permitindo estabelecer a trajetória do fogo (Batista, 2000).

Considerando o aumento da frequência dos incêndios induzidos em áreas montanhosas, sobretudo em coberturas florestais nas encostas íngremes, é importante considerar as alterações tanto no que diz respeito a estrutura e composição da vegetação, quanto também a alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Os efeitos do ritmo das transformações no uso e cobertura da terra irão refletir no grau de suscetibilidade de terreno e na potencialização de processos erosivos, principalmente na deflagração de deslizamentos de terra em resposta aos eventos extremos de chuva.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta metodológica para identificação de áreas quanto a suscetibilidade do terreno frente à ocorrência de incêndios, em escala de detalhe (entre 1:10.000 e 1:5.000), tomando a bacia do Córrego d'Antas (53 km²) como área piloto para avaliação de sua potencialidade. Trata-se de uma contribuição aos estudos sobre a natureza e magnitude dos movimentos gravitacionais de massa em encostas íngremes, os quais são, pelo menos em parte, condicionados pela vegetação historicamente transformada pela ação recorrente do fogo, como ainda ocorre atualmente.

Material e métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Córrego d'Antas drena para o rio Bengala, na área central do município de Nova Friburgo, situado no alto da Serra do Mar, no Estado do Rio de Janeiro (ERJ), localmente denominada como Serra dos Três Picos (Figura 1a). Trata-se do município mais chuvoso do ERJ, onde a precipitação média anual é da ordem de 2.500 mm nas áreas mais elevadas ao sul. No período mais chuvoso, entre dezembro e fevereiro,

a média mensal da chuva varia entre 240 a 340 mm, entretanto, no evento extremo de janeiro/2011, entre os dias 11 e 12, algumas localidades foram atingidas por mais de 200 mm chuvas em menos de 12 horas (Coelho Netto *et al.*, 2013).

O tipo de vegetação original da região montanhosa da Serra do Mar é a Floresta Ombrófila Densa Montana, hoje fragmentada, prevalecendo a floresta secundária. Coutinho (2015), apoiado em imagem *Geoeye* e base topográfica na escala 1:5.000, identificou que 25,3% da área dessa bacia está recoberta por floresta degradada, 31,9% por gramíneas, 19,3% por vegetação herbácea-arbustiva, 5,8% de floresta mais conservada, 19,9 por cultivo e 1,4% por silvicultura (Figura 1b).

Estudos conduzidos por Fraga *et al.* (2015) nesta bacia possibilitaram a comparação entre dois fragmentos florestais de idade em torno de 20 e 50 anos, após uso recorrente do fogo na agricultura, destacando um elevado número de indivíduos arbóreos mortos (12,9% e 8,3 %, respectivamente); mesmo após 50 anos, ainda predominam as espécies pioneiras e secundárias iniciais (cerca de 70%). Os autores ressaltam que este processo sucessional vem ocorrendo de modo lento quando comparado a outros estudos sobre regeneração da floresta Atlântica, após uso agrícola não-predatório, como observado na Ilha Grande, em Angra dos Reis (RJ), em território tradicional caçara (Oliveira e Coelho Netto, 2011).

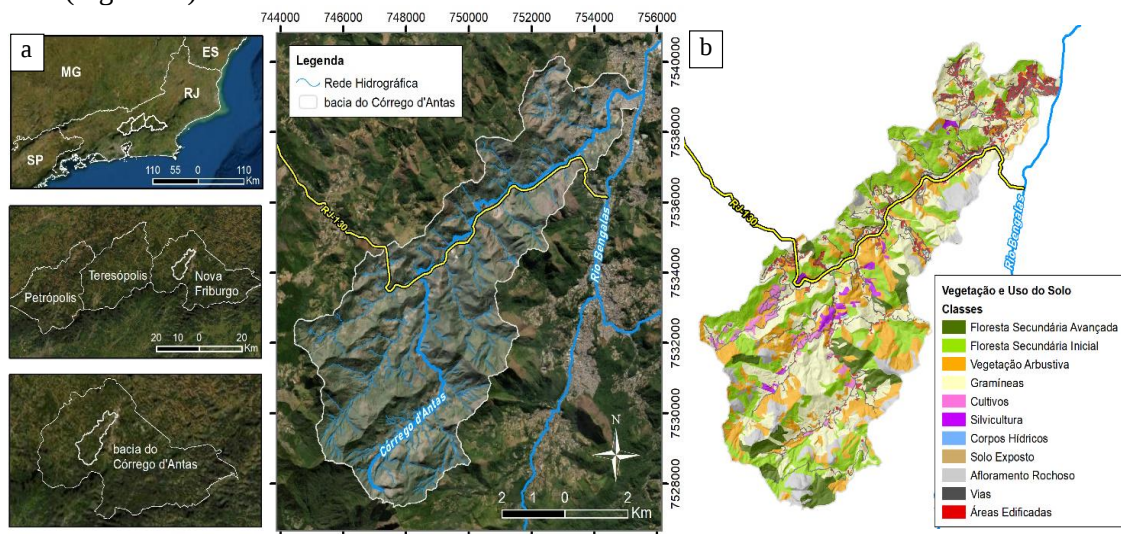


Figura 1a. Localização da bacia do Córrego d'Antas. Figura 1b. Vegetação e Uso do Solo da bacia.

Metodologia

A carta de suscetibilidade à ocorrência de incêndios segue a abordagem geo-hidroecológica, sistêmica e fundamentada no método analítico-integrativo (Coelho Netto *et al.*, 2020). Esta metodologia inclui as seguintes etapas: 1) seleção dos fatores e categorias funcionais relevantes ao tema estudado, 2) aglutinação das classes das cartas temáticas selecionadas conforme o potencial de influência, 3) definição de pesos conforme a relevância da variável e das classes, 4) sobreposição das informações de acordo com os mapas reclassificados e, 5) validação dos

resultados com dados de campo ou fontes confiáveis. Neste trabalho, foram elaboradas uma carta do potencial de detonação e uma carta do potencial de propagação, que sobrepostas formaram a carta de suscetibilidade aos incêndios na escala 1:5.000. As cartas foram construídas a partir dos critérios expostos na Figura 2. Os dados de entrada para as cartas de potencial de detonação e potencial de propagação foram confeccionados por Coutinho (2015) na escala 1:5.000 através do mapeamento visual de imagem *Geoeye* de 2006 com resolução espacial de 2,5 metros.

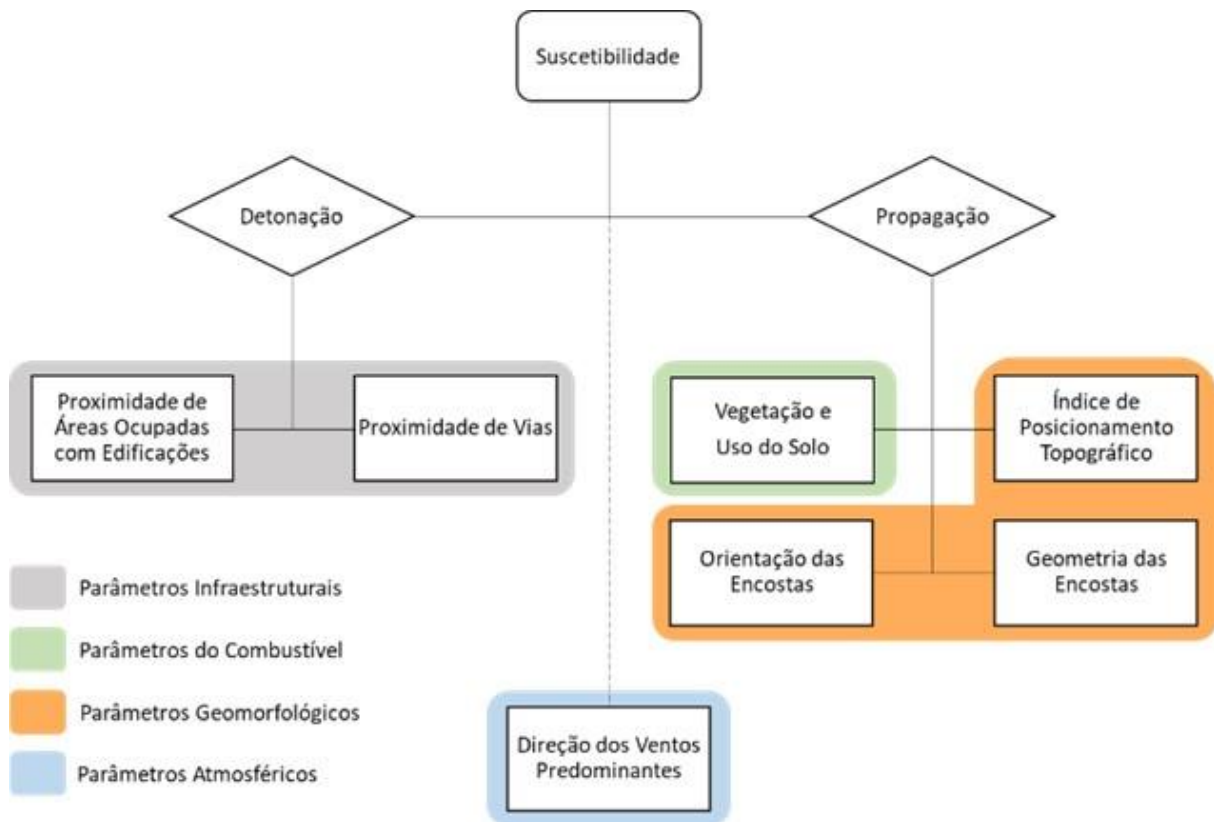


Figura 2. Fluxograma dos critérios utilizados para cada carta.

Potencial de Detonação

Para iniciar a combustão é necessária uma fonte de calor, ou seja, uma fonte de ignição, seja antrópica (induzida) ou natural, sendo raras as condições para ocorrer uma combustão espontânea no domínio da floresta ombrófila densa, devido as condições de umidade. Nesse estudo, para avaliar o potencial de detonação da bacia do Córrego d'Antas foram abordados dois fatores antrópicos: proximidade de áreas ocupadas com edificações e proximidade de vias (pavimentadas e não pavimentadas). Os dados georreferenciados das edificações e vias foram elaborados por Coutinho (2015).

Para ambas, foram criadas zonas de influências, através da ferramenta *Buffer* do software ArcGis 10.6.1, de 150 e 300 m para áreas edificadas e 50 m para as vias (Tabela 1). Essas distâncias foram escolhidas a partir da análise da distância mais próxima entre os incêndios e as áreas edificadas e estradas, utilizando a ferramenta *Near Distance*. Por último, as classes de alta suscetibilidade das duas variáveis foram agrupadas para ter como resultado uma carta de potencial de detonação. Nesse estudo, não foi analisada a influência de raios e de balões por se tratar de elementos muito variáveis no espaço.

Potencial de Propagação

A aglutinação das classes das cartas temáticas selecionadas conforme o potencial de

influência, e a definição de pesos conforme a relevância da variável e das classes também está exibida na Tabela 1.

Vegetação e Uso do Solo

A combustibilidade da vegetação foi definida a partir da aglutinação das classes do mapa de vegetação e uso do solo elaborado por Coutinho (2015). As áreas cobertas por gramíneas e herbáceas receberam o valor mais alto devido ao combustível fino, que perde umidade por evapotranspiração mais rápido, acumulação de biomassa morta e composição de um dossel homogêneo que facilita a propagação das chamas (Speltz, 1978). A silvicultura, observada através de reconhecimento de campo como plantação de eucalipto, recebeu valores mais altos devido à sua alta facilidade em entrar em combustão e resistência às chamas. A floresta secundária inicial foi classificada como combustibilidade média e a floresta secundária avançada, em combustibilidade baixa devido ao seu dossel mais fechado e denso, mantendo a umidade elevada abaixo das copas mesmo em períodos de estiagem (Cochrane, 2003). No entanto, em virtude de as bordas dos fragmentos florestais serem mais suscetíveis ao fogo devido a rarefação do dossel e invasão de espécies pioneiras pelo próprio efeito de borda (Freitas *et al.*, 1999; Fernandes *et al.*, 1998), foi elaborada uma zona de borda de 50 metros para cada fragmento florestal através da ferramenta

Buffer Wizard do *software* ArcGis 10.6.1, sendo reclassificada como uma nota acima da classificação preliminar do fragmento.

As coberturas de cultivos foram classificadas como baixa combustibilidade pois é sabido que os produtores locais utilizam o aceiro (áreas desmatadas ao redor da plantação) como técnica agrícola evitando a propagação do fogo para áreas além das cultivadas. Por fim, as classes “vias”, “áreas ocupadas”, “corpos hídricos”, “afloramento rochoso” e “solo exposto” foram classificadas como áreas não suscetíveis à ocorrência de incêndios pois além de não possuírem combustível para entrar em combustão, com exceção das áreas ocupadas, a análise da propagação se atenta à relação com a vegetação. Nesse sentido, essas classes foram eliminadas de todas as outras variáveis através da ferramenta *Erase* do *software* ArcGis 10.6.1, para não serem contabilizadas no cálculo final dos valores agrupados (Tabela 2).

Índice de Posicionamento Topográfico

O *Topographic Position Index* (TPI) é definido como a diferença entre um valor de elevação de célula e a altitude média da vizinhança em torno dessas células. O mapa do índice de posicionamento topográfico, elaborado por Coutinho (2015), foi reclassificado para a carta do potencial de propagação. Os divisores e alta encosta foram classificados como alta suscetibilidade pois são áreas de dispersão de fluxos d'água, portanto, mais secos. A média encosta foi classificada como média suscetibilidade por serem áreas de transferência de fluxo e fundo de vale e baixa encosta foram classificadas como baixa suscetibilidade pois são áreas de acúmulo de fluxos d'água, e consequentemente, possuem combustível mais úmido.

Orientação das Encostas

O mapeamento da orientação das encostas foi realizado através da ferramenta *Aspect* do *software* ArcGis 10.6.1 derivado do Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia do Córrego d'Antas, com resolução espacial de 2,5 m. Os valores foram agrupados em Norte (315° a 45°), Leste (45° a 135°), Sul (135° a 225°) e Oeste (225° a 315°). No hemisfério Sul, as encostas voltadas para o Norte são as que recebem maior incidência de radiação solar direta ao longo do ano e, portanto, são mais aquecidas e secas. Por outro lado, as encostas voltadas para o Sul na maior parte do ano

estão sombreadas ou recebem radiação solar difusa (Ferreira *et al.*, 2012). Dessa forma, as encostas voltadas para Norte foram classificadas como alto potencial de propagação, as encostas voltadas para Leste e Oeste como médio potencial e as encostas voltadas para Sul como baixo potencial.

Geometria das Encostas

O mapeamento da geometria das encostas foi elaborado a partir da geração da curvatura horizontal (expressa em °/m) através da ferramenta *Curvature* do *software* ArcGis 10.6.1 derivado do MDE. Os valores obtidos foram reclassificados em três categorias, atribuindo o intervalo de -0,038°/m a +0,051°/m para a classe intermediária, conforme sugerido por Valeriano (2008). Dessa forma, os valores negativos abaixo desse limiar são classificados como relevos côncavos, os valores acima do limite como relevos convexos e dentro do intervalo, relevos planares. As áreas convexas foram classificadas como alta potencialidade a propagação pois são áreas de dispersão de fluxos, áreas retilíneas classificadas como média potencialidade por serem áreas de transferência de fluxo e côncavas classificadas como baixa potencialidade pois são áreas de acúmulo de fluxos.

Direção dos Ventos Predominantes

A partir do mapa da orientação, também foram classificadas as encostas que recebem maior ação de ventos com objetivo de analisar a propagação do fogo. Além de fornecer oxigênio para o prolongamento e/ou incremento do processo de combustão, o vento pode aumentar a velocidade de propagação do fogo devido a inclinação da chama e carregar pequenas partes de combustível em chamas, causando novas ignições em áreas não queimadas (Byram, 1959). De acordo com a Análise Retrospectiva da Era Moderna (MERRA-2) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em Nova Friburgo, os ventos predominantes vêm de Norte entre os meses de maio a agosto e novembro a março, e vêm de Leste entre os meses de março a maio e agosto a novembro. Levando em conta que os ventos não são contínuos no terreno, optou-se por não inserir esse parâmetro na equação das cartas, mas indicar essa informação em sobreposição ao produto da carta de detonação, propagação e da carta de suscetibilidade. Dessa maneira, as encostas que recebiam ventos de Norte e Leste foram ressaltadas nas cartas.

Tabela 1. Agrupamento das classes originais com atribuição de notas e pesos para as cartas de detonação e de propagação. Ansoi = área não suscetível à ocorrência de incêndios.

Classes	Nota	Peso
Buffer		
50 m da via	Alta	3
Até 150 m da área ocupada com edificações	Alta	3
Entre 150 e 300 m da área ocupada com edificações	Média	2
> 300 m da área ocupada com edificações	Baixa	1
Vegetação e Uso do Solo		
Gramíneas		
Vegetação Arbustiva	Alta	3
Silvicultura		
Borda Floresta Secundária Inicial		
Floresta Secundária Inicial	Média	2
Borda Floresta Secundária Avançada		
Floresta Secundária Avançada	Baixa	1
Cultivos		
Vias		
Áreas Ocupadas	Ansoi	-
Corpos Hídricos		
Afloramento Rochoso		
Solo Exposto		
Índice de Posicionamento Topográfico		
Divisores	Alta	3
Alta Encosta		
Média Encosta	Média	2
Baixa Encosta	Baixa	1
Orientação das Encostas		
Norte	Alta	3
Leste	Média	2
Oeste		
Sul	Baixa	1
Geometria das Encostas		
Convexo	Alta	3
Retilíneo	Média	2
Côncavo	Baixa	1

Por último, foram incorporados pesos entre 0 e 1 para os critérios conforme o nível de influência. Desse modo, o peso das classes é potencializado pelo peso dos critérios, conforme seu nível de relevância. Nesse contexto, a vegetação e uso do solo foi considerada o parâmetro mais significativo, seguido pelo mapa do índice de posicionamento topográfico (TPI), orientação das encostas e por último, pela geometria das encostas. Dessa forma, a elaboração da carta de propagação foi elaborada conforme a Equação 1:

$$PP = \left(\begin{matrix} 0,4 \times VU + 0,3 \times TPI + \\ 0,2 \times Or + 0,1 \times Fg \end{matrix} \right) \quad (1)$$

Onde,

PP = potencial de propagação dos incêndios

VU= vegetação e uso do solo

TPI= índice de posicionamento topográfico

Or = orientação das encostas

Fg = geometria das encostas

Os resultados obtidos no equacionamento dos valores atribuídos aos condicionantes da propagação dos incêndios, foram agrupados em três classes com intervalos iguais, variando de 3,0 a 1,0 como classificação de valores alto, médio e baixo, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Valores agrupados para a classificação da carta de propagação dos incêndios a partir do equacionamento das variáveis escolhidas.

Classes	Valores
Alta	3,0 - 2,4
Média	2,3 - 1,7
Baixa	1,6 - 1,0

Carta de Suscetibilidade

Por último, a carta do potencial de propagação foi então sobreposta à carta do potencial de detonação, resultando no mapa da

suscetibilidade aos incêndios na bacia do Córrego d'Antas. Para isso, foi atribuído peso maior (0,6) para a carta do potencial de detonação e menor (0,4) para a carta do potencial de propagação, pois mesmo em condições de terreno mais suscetíveis à propagação de incêndio, sem uma fonte de calor (ignição) não há combustão (Equação 2). Esse cálculo resultou novamente no mesmo conjunto de valores agrupados (Tabela 2).

$$S = (0,6 \times \text{Detonação} + 0,4 \times \text{Propagação}) \quad (2)$$

Onde,

S = suscetibilidade do terreno à ocorrência de incêndios

Como complemento da análise pretendida e validação da carta de suscetibilidade à ocorrência de incêndios, foram mapeadas áreas queimadas na plataforma *Google Earth Pro* entre os anos de 2004 e 2010. Essas áreas foram delimitadas através da ferramenta “adicionar polígonos” em formato *kml* e convertidas em formato *shapefiles* no *software* ArcGis 10.6.1.

Tabela 3. Variáveis para o mapeamento geoecológico da suscetibilidade à ocorrência de incêndios em alguns estudos. O nome de algumas variáveis foi alterado em relação ao original para melhor visualização dos dados. Elaborado pelas autoras.

Local	Área (Km²)	Variáveis utilizadas	Estudo
Grande Vitória (ES)	~1290,0	Vegetação e Uso do Solo, Declividade, Orientação das Encostas, Altitude, Detonação	Dalcumene e Santos (2005)
Maciço da Pedra Branca (RJ)	124,9	Vegetação e Uso do Solo, Geometria das Encostas, Radiação Solar, Detonação	Sousa <i>et al.</i> (2009)
Parque Nacional do Itatiaia (RJ)	579,2	Vegetação e Uso do Solo, Orientação das Encostas, Geometria das Encostas, Detonação	Silva <i>et al.</i> (2009)
Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros	2376,7	Vegetação e Uso do Solo, Declividade, Altitude, Orientação das Encostas, Precipitação, Temperatura, Evapotranspiração, Deficiência Hídrica, Detonação	Prudente (2010)
Estado do Rio de Janeiro	43 780,2	Vegetação e Uso do Solo, Geometria das Encostas, Radiação Solar, Precipitação	Fernandes <i>et al.</i> (2011)
Parque Nacional do Itatiaia (RJ)	579,2	Vegetação e Uso do Solo, Geometria das Encostas, Declividade, Altitude Radiação Solar, Precipitação	Tomzhinski (2012)
Novo Mundo (MT)	5.794,7	Vegetação e Uso do Solo, Declividade, Detonação	Ribeiro <i>et al.</i> (2012)
Área urbana de Ubá (MG)	407,5	Vegetação e Uso do Solo, Declividade, Orientação das Encostas	Torres <i>et al.</i> (2014)
Petrópolis (RJ)	795,8	Vegetação e Uso do Solo, Declividade, Altitude Orientação das Encostas, Precipitação, Temperatura	Camargo <i>et al.</i> (2019)
Parque Estadual da Serra da Concórdia (RJ)	8,04	Vegetação e Uso do Solo, Geometria das Encostas, Orientação das Encostas, Radiação Solar	Andrade e Ferreira (2019)
Parque Estadual Lapa Grande (MG)	376,28	Vegetação e Uso do Solo, Geometria das Encostas, Declividade, Altitude, Orientação das Encostas, Radiação Solar	Santos Júnior <i>et al.</i> (2020)

Resultados e discussão

Diversos têm sido os parâmetros utilizados pela literatura para avaliar a suscetibilidade à ocorrência de incêndios (Tabela 3). Dentre os estudos levantados, a vegetação e uso do solo foi o parâmetro mais utilizado, dada a importância do tipo de combustível para ocorrer a ignição. Em seguida vieram os parâmetros geomorfológicos – declividade, orientação das encostas e geometria das encostas – e, posteriormente, os fatores climáticos – radiação solar, precipitação e temperatura. O baixo emprego desses últimos pode ser explicado pela carência de dados climatológicos em algumas áreas. Também foram observados alguns fatores atípicos, como a deficiência hídrica e evapotranspiração, que foram empregados em uma área com características específicas de déficit de água. A maioria desses autores inserem as variáveis de detonação (ou ignição) com as variáveis de propagação, mas neste trabalho entendemos que esses elementos não possuem a mesma natureza, analisando os dois grupos separadamente para elaborar a carta de suscetibilidade.

No período entre 2004 e 2010, foram mapeados 51 incêndios na bacia do Córrego d'Antas, recobrando uma área total de 0,89 km² (89 ha). A área média desses incêndios foi de 17.504 m² (1,75 ha), variando entre 138.349 m² (13,84 ha) e 504 m² (0,05 ha). Analisando a carta do potencial

de detonação na Figura 3, observa-se que a distância mínima entre os incêndios e as áreas ocupadas com edificações foi de até 150 m para 45 incêndios (88%) e em relação às estradas foi de até 50 m para 38 incêndios (75%).

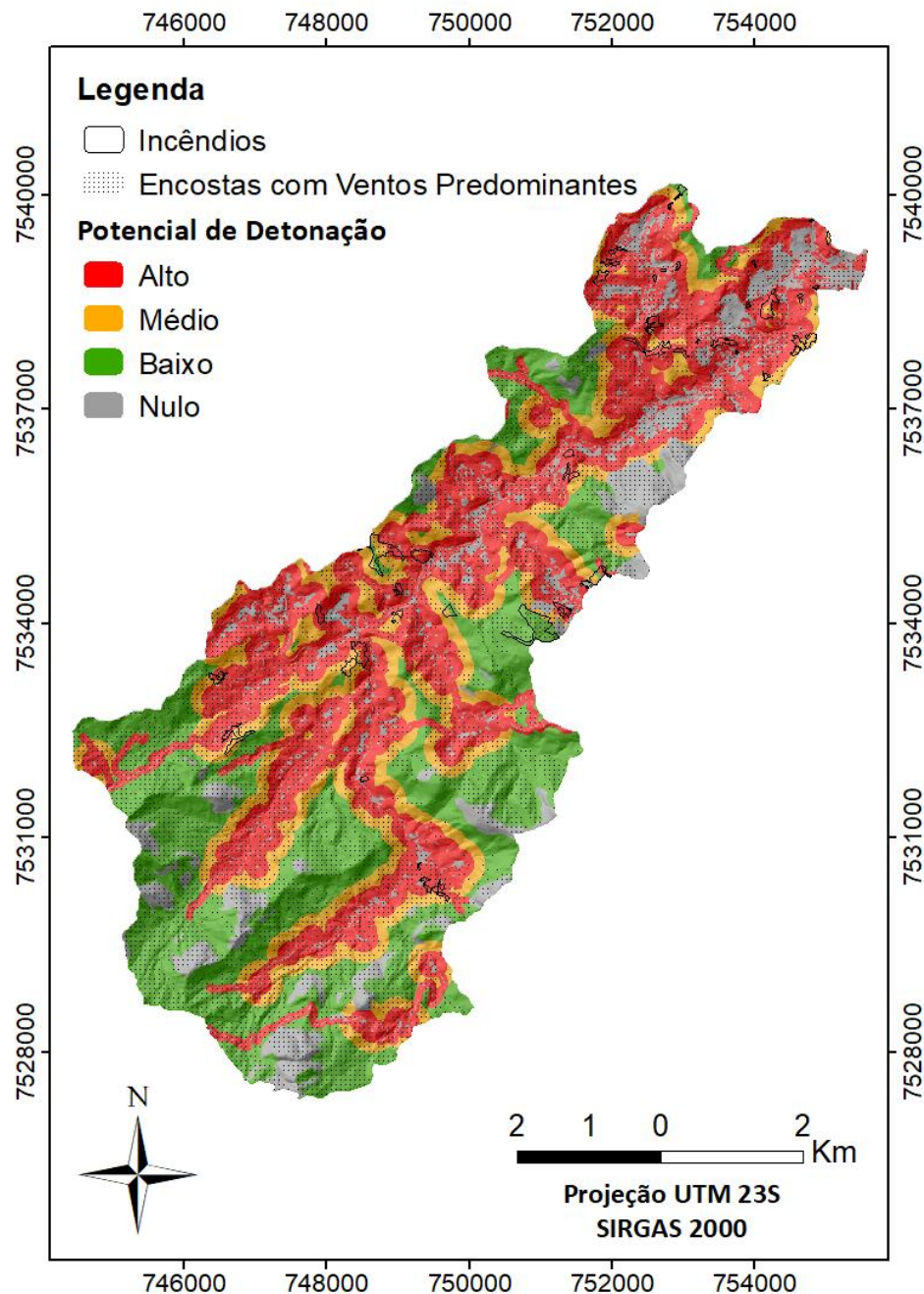


Figura 3. Carta do potencial de detonação da bacia do Córrego d'Antas.

Analisando a sobreposição das áreas queimadas com as classes da carta de detonação, observa-se que 52% dos incêndios sobrepõem com as áreas classificadas como alta potencialidade (Tabela 4). Vale ressaltar, entretanto que uma vez iniciada a combustão, o fogo pode propagar para áreas de média e baixa potencialidade. É possível observar que os incêndios de menores proporções estão quase que totalmente inseridos nas áreas de

alta e média potencialidade à detonação. Chama a atenção, no entanto, o fato do maior incêndio (0,14 km²) estar sobreposto em 95% da área classificada como baixo potencial de detonação. Apesar dessa classificação, é importante destacar que esta área está situada em encostas com ventos predominantes (Norte e Leste), o que pode estar relacionado com a propagação do fogo, tal como será observado adiante na Figura 5.

Tabela 4. Distribuição espacial da área total da bacia e das áreas queimadas conforme as classes da carta do potencial de detonação dos incêndios.

Classes	Área Total (%)	Área Queimada (%)
Alta	44	52
Média	20	27
Baixa	36	21
Ansoi	16	0

As cartas temáticas elaborados para a construção da carta do potencial de propagação são apresentados na Figura 4. Na carta de vegetação e uso do solo, a cobertura vegetal que apresentou maior área queimada foram as gramíneas e vegetação arbustiva, confirmando a inflamabilidade dessas vegetações (Tabela 5).

Além disso, a borda dos fragmentos florestais também apresentou áreas queimadas,

ratificando que essas áreas são mais suscetíveis ao fogo do que suas áreas nucleares devido ao efeito de borda e invasão das gramíneas, que tornam o ambiente mais favorável à ocorrência de incêndios. Dessa forma, a grande maioria dos incêndios mapeados (98%) ocorreram em áreas de alta suscetibilidade.

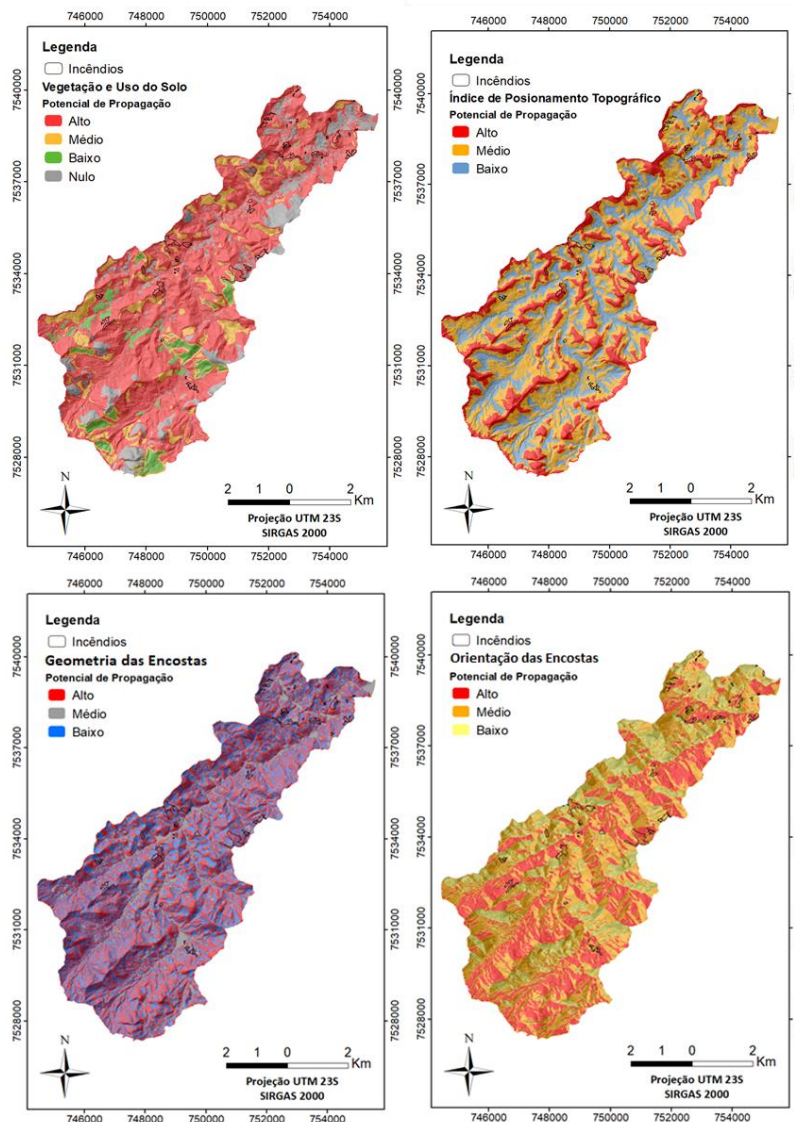


Figura 4. Cartas temáticas utilizados na construção da Carta do Potencial de Propagação dos incêndios.

Em relação ao índice de posicionamento topográfico, a maior parte da área queimada (57%) ocorreu na classe de alto potencial de propagação (divisores e alta encosta) como era esperado. A

classe de média suscetibilidade também apresentou uma alta porcentagem de área queimada (39%), que pode ser explicado pela proximidade da média encosta com as áreas urbanas, favorecendo a

ignição dos incêndios, e a classe de baixo potencial a propagação apresentou 4% da área queimada.

As encostas com orientação Norte possuem 45% da área queimada mapeada, enquanto as encostas com orientação Leste e Oeste possuem juntas 48%. Em relação a direção do vento, maior parte da bacia (60%) possui encostas que recebem ventos predominantes, vindos de Norte e Leste. Essa condição favorece a propagação de incêndios nas encostas com orientação Norte e Leste, e ao mesmo tempo intensificam a perda da umidade nas encostas voltadas para Norte, uma vez que recebem a maior parte dos raios solares e ação dos ventos.

O estudo sobre a análise temporal dos incêndios em Nova Friburgo entre 2014 e 2017, de Bolsas *et al.* (2019), demonstra que a maioria dos incêndios ocorre nos meses de agosto, setembro e

outubro. Nessa época, os ventos na região vêm de Leste até final de agosto, e de Norte do final de agosto até setembro. Dessa forma, os meses mais secos coincidem com a direção do vento que auxilia a propagação dos incêndios nas encostas mais secas (Norte e Leste).

Em relação à geometria das encostas, os incêndios mapeados (área total queimada = 0,89 km²) ocorreram em grande parte (57%) em encostas com forma convexa, ou seja, de divergência de fluxos d'água. Entretanto, as encostas côncavas, geralmente mais úmidas, também foram queimadas (37%). Vale ressaltar que a área de estudo apresenta encostas íngremes, prevalecendo a geometria côncava cuja morfologia é geralmente rasa e aberta na porção inferior, resultante da recorrência dos deslizamentos translacionais rasos (Coelho Netto *et al.* 2016).

Tabela 5. Distribuição da área total da bacia e das áreas queimadas mapeadas em relação às classes das cartas temáticas.

Potencial de Propagação	Área Total (%)	Área Queimada (%)
Vegetação e Uso do Solo		
Alto	69	98
Médio	13	2
Baixo	5	0
Nulo	14	0
Índice de Posicionamento Topográfico		
Alto	25	57
Médio	49	39
Baixo	26	4
Orientação das Encostas		
Alto	45	45
Médio	48	48
Baixo	7	7
Geometria das Encostas		
Alto	43	57
Médio	24	7
Baixo	33	36

A combinação de todas as categorias acima (vegetação e uso do solo, índice de posicionamento topográfico, orientação das encostas e geometria das encostas) gerou a carta do potencial de propagação dos incêndios (Figura 5). A Tabela 6 apresenta as áreas de distribuição espacial das classes de suscetibilidade. Os incêndios ocorreram

em sua maioria na classe de alta suscetibilidade (85% da área queimada) e nenhuma em baixa suscetibilidade. Esses resultados indicam que a escolha das categorias e sua ordem de importância apresentaram uma validação e confiabilidade para a elaboração da carta de propagação dos incêndios na área piloto.

Tabela 6. Distribuição espacial da área total da bacia e das áreas queimadas conforme as classes da carta do potencial de propagação dos incêndios.

Classes	Área Total (%)	Área Queimada (%)
Alta	42	85
Média	40	15
Baixa	5	0
Ansoi	14	0

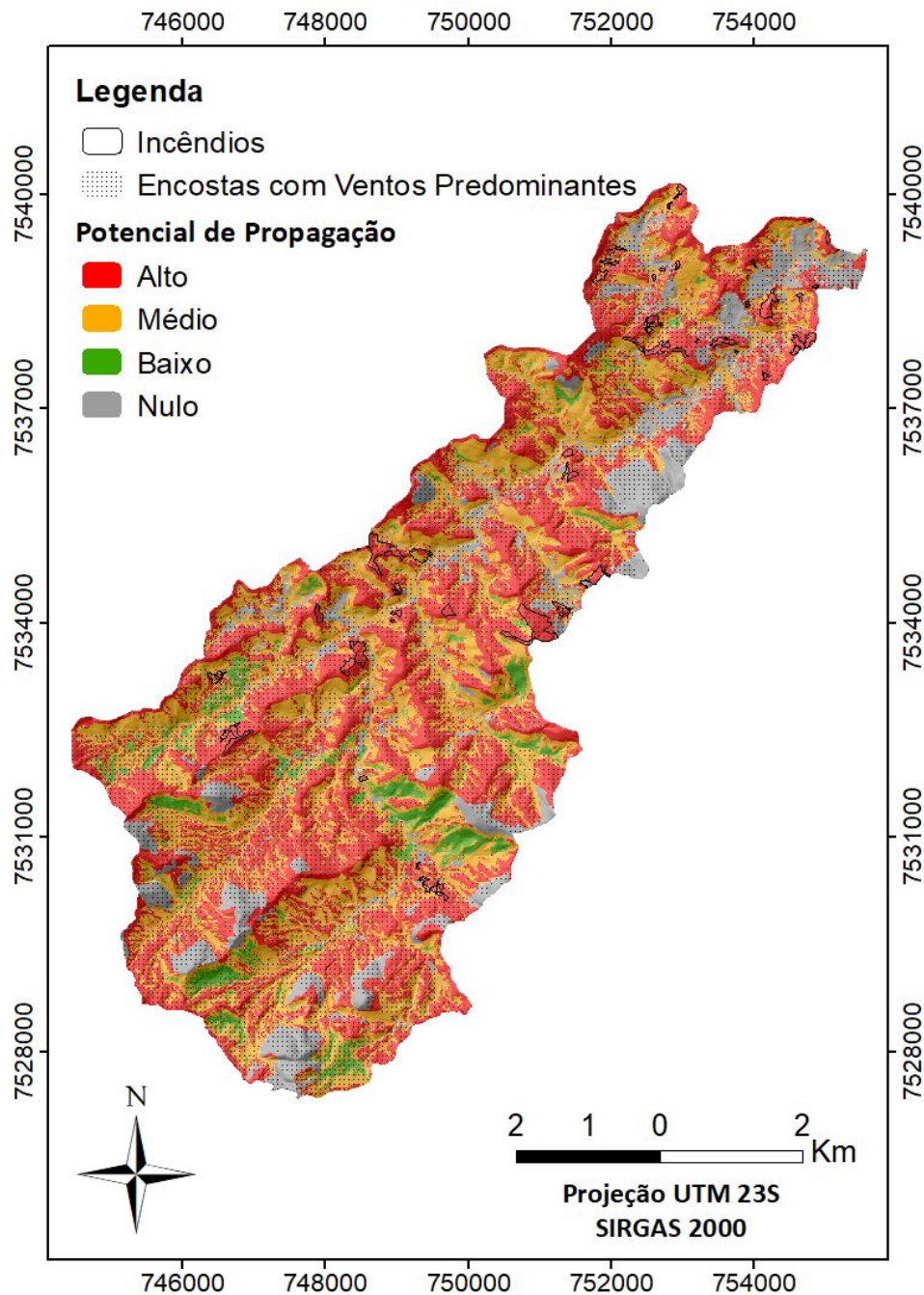


Figura 5. Carta do potencial de propagação da bacia do Córrego d'Antas.

A carta final de suscetibilidade ao incêndio, resultado da combinação entre a carta de potencial de detonação e potencial de propagação, (Figura 6) indica que 45% da bacia está inserida na categoria de alta suscetibilidade. Em relação às áreas queimadas mapeadas foi verificado que 76%

das manchas de incêndios se sobrepõem a esta categoria (Tabela 7). Esses resultados apontam para uma aproximação da metodologia ora proposta com as condições da suscetibilidade de terreno aos incêndios.

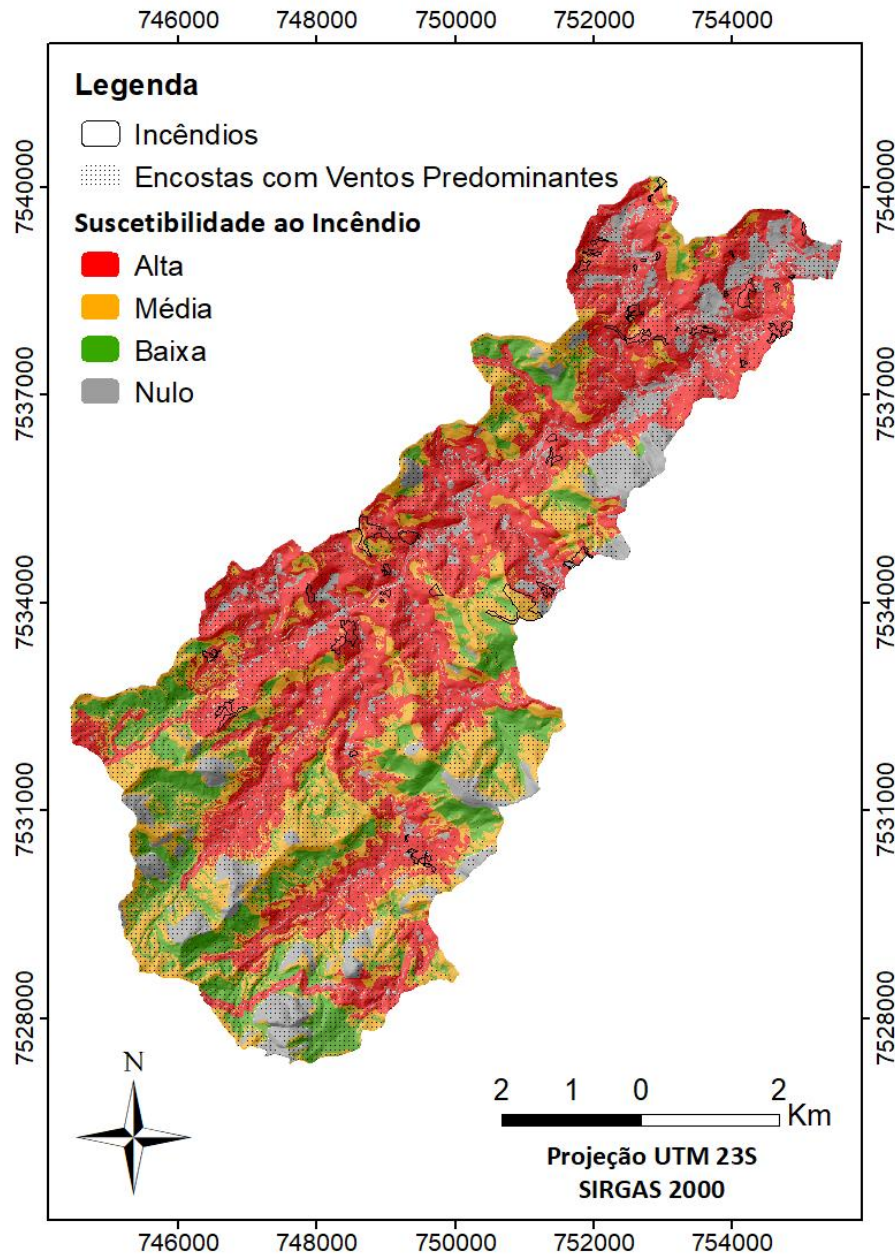


Figura 6. Carta de suscetibilidade ao incêndio da bacia do Córrego d'Antas.

Tabela 7. Distribuição espacial da área total da bacia e das áreas queimadas conforme as classes da carta de suscetibilidade ao incêndio.

Classes	Área Total (%)	Área Queimada (%)
Alta	45	76
Média	25	24
Baixa	16	1
Ansoi	14	0

As altas encostas e divisores foram em sua grande maioria classificados como alto potencial de propagação, mas classificados como baixa e/ou média suscetibilidade quando estão distantes das áreas urbanas e vias, principalmente aqueles localizados na parte sul da bacia, que possui características mais rurais. Na porção norte, com características mais urbanas, a carta de

suscetibilidade também demonstrou diferença em relação à carta de propagação, com um aumento de áreas classificadas como alta suscetibilidade devido à maior concentração de construções edificadas e vias nessa parte da bacia.

Conclusões

A carta de suscetibilidade aos incêndios, resultado da integração de elementos referentes à detonação e propagação, evidenciou que 45% de sua área total (53 km²) é altamente suscetível aos incêndios e, seguindo o dito popular “água morro abaixo e fogo morro acima”, com a redução progressiva da umidade entre os fundos de vales e os divisores, as áreas mais suscetíveis acompanham as encostas mais elevadas e os divisores de águas ou interflúvios. Embora ainda seja escasso o inventário das ocorrências de incêndios (n=51), devidamente georreferenciado, o fato de 76% desses casos estar em áreas qualificadas como de alta suscetibilidade permite validar a metodologia aqui proposta.

Vale ressaltar que uma das maiores áreas atingidas por incêndio nesse inventário embora esteja associada a baixa suscetibilidade na detonação, por outro lado, essa mesma área foi classificada como de alta propagação, reforçando a importância da integração das duas cartas. Significa, portanto, que não se pode desconsiderar as relações de vizinhança entre áreas com diferentes potenciais de detonação e propagação.

Para o aprimoramento da análise e classificação da suscetibilidade de terreno, uma outra variável importante a incorporar nesta metodologia é a precipitação e variação de umidade no solo, ou seja, considerando os períodos de estiagem e de concentração de chuvas. No caso deste estudo, esta metodologia foi elaborada como mais uma ferramenta para auxiliar no planejamento e gestão territorial e ambiental, especialmente no nível local, em áreas de expansão urbana (por bairros ou distritos conectados entre si), como exemplificado na bacia do Córrego d’Antas (escalas de representação espacial entre 1: 10.000 e 1: 5.000).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e FAPERJ pelo suporte financeiro, à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado e ao 6º Grupamento de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro pela concessão dos dados.

Referências

- Alves, L.M., Chadwick, R., Moise, A., Brown, J., Marengo, J. A., 2020. Assessment of rainfall variability and future 24 change in Brazil across multiple timescales. *International Journal of Climatology*, . 40, 1875-1888.
- Andrade, S. C., Ferreira, A. F., 2019. Mapeamento geoecológico da suscetibilidade à ocorrência de incêndios do Parque Estadual da Serra da Concórdia – Valença/RJ. *Revista Eletrônica TECCEN.*, 12, 45-58.
- Araújo, J. R., Mayer, J. M., 2003. Teia Serrana: formação histórica de Nova Friburgo. Editora ao Livro Técnico, 318 p.
- Assis Barros, L., Mendonça, B. A. F., Sothe, C., Fernandes Filho, E. I., Elkin, C., 2021. Fire in the Atlantic Rainforest: na analysis of 20 years off ire foci distribution and their social-ecological drivers. *Geocarto International*, DOI: 10.1080/10106049.2021.1899301.
- Batista, A. C., 2000. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Floresta*, 30, 45–54.
- Bolsas, L., Freitas, L. E., Coelho Netto, A. L., 2019. Análise espaço-temporal dos incêndios em Nova Friburgo: subsídios ao estudo da suscetibilidade de terreno frente aos deslizamentos. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.
- Byram, G. M., 1959. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K. P. *Forest fire: control and use*. McGraw Hill, New York, 61 - 89.
- Camargo, L. S., Silva, R. W., Amaral, S. S., Silva, A. P., Ferreli, T., Silva, M. P., 2019. Mapeamento de áreas suscetíveis a incêndios florestais do município de Petrópolis - RJ. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42.
- Cochrane, M. A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature*, 421, 913–919.
- Coelho Netto, A. L., Facadio, A. C., Silva, R. P., 2020. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro e zona de fronteira: uma abordagem geo-hidroecológica. In: Dantas, M. E., Moraes, J. M., Ferrassoli, M. A., Jorge, M. Q., Hilquias, V. A. *Geodiversidade do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: CPRM, capítulo 6, p. 125-187.
- Coelho Netto, A. L., Sato, A. M., Avelar, A. S., Viana, L. G. G., Araújo, I. S., Ferreira, D. L. C., Lima, P. H., Silva, A. P. A., Silva, R. P., 2013. January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Coelho Netto, A. L., Silva, R. P., Facadio, A. C., Lima, P. H., 2016. Movimentos gravitacionais de massa e evolução das encostas montanhosas em regiões tropicais: estudos em Nova Friburgo, RJ. In: COPPE-UFRJ. Willy Lacerda: doutor no saber e na arte de viver. Rio de Janeiro: Outras Letras, 235-241.

- Coutinho, B., 2015. Indicadores geo-hidroecológicos de suscetibilidade das encostas frente a erosão e movimentos de massa em região montanhosa tropical úmida: suporte metodológico para zoneamentos de riscos em diferentes escalas de análise espacial. Relatório Técnico do 2o ano Pós-Doutorado PDJ/CNPq. 157 p.
- Dalcumune, M. A. B., Santos, A., 2005. Mapeamento de índice de risco de incêndio para a região da Grande Vitória/ES, utilizando imagens do satélite LANDSAT para o ano de 2002. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 1485–1492.
- Dean, W., 1996. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Cia. das Letras, 2004. 484 p.
- Fernandes, M. C., Coura, P. H. F., Sousa, G. M., Avelar, A. S., 2011. Avaliação Geoecológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Floresta e Ambiente, 18, 299–309.
- Fernandes, M. C., Rosas, R. O., Coelho Netto, A. L., 1998. Potencialidade de ocorrência de queimadas no Maciço da Tijuca - RJ: uma abordagem utilizando geoprocessamento. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 1998. p. 538-548.
- Ferreira, W. P., Ribeiro, M. F., Fernandes Filho, E. I., Souza, C. F. Castro, C. C. R., 2012. As características térmicas das faces Noruega e Soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha. Embrapa: Brasília, DF. 34 p.
- Fraga, J. S., Oliveira, R. R., Amorim, T. A.; Silva, I. M.; Coelho Netto, A. L., 2015. Florestas Secundárias de diferentes idades e a estabilidade de encostas em Nova Friburgo (Estado do Rio de Janeiro, Brasil). Pesquisas, Botânica, v. 68, p. 287–309.
- Freitas, L. E., Tavora, G. L., Preza, D. M., Coelho Netto, A. L., 1999. The effects of recurrent fires over vegetation structure. In: GEOVEG99, Proceedings on geomorphic responses to environmental (vegetation) changes: problems and remedial work. Bananal, São Paulo, p. 71-79.
- Fundação SOS Mata Atlântica, INPE., 2021. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 73 p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jeske-Pieruschka, V., Ledru, M., 2016. A mata atlântica no final do quaternário: dinâmicas climatobotânicas e antropogênicas desde o último glacial. In: Cabral, D. C., Bustamante, A. G. Metamorfoses florestais: culturas, ecologias e as transformações históricas da Mata Atlântica. Editora Prismas, 458 p.
- Julião, R. P., Nery F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., Zêzere, J. L., 2009. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. 94 p.
- Leonel, M., 2000. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. Estudos Avançados, 14, 231-250.
- Oliveira, R. R., Coelho Netto, A. L., 2001. Processos interativos homem-floresta na evolução da paisagem da Ilha Grande - RJ. Geo UERJ, Rio de Janeiro/RJ, 8, 29-38.
- Prudente, T. D., 2010. Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia. 116 p.
- Ribeiro, L., Soares, R. V., Beppler, M., 2012. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. Cerne, Lavras, 18, 117-126.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., Hirota, M. M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. Biological Conservation, 142, 1141–1153.
- Sansevero, J. B. B., Garbin M. L., Sanchez-Tapia A., Valladares, F., Scarano F. R., 2020. Fire drives abandoned pastures to a savanna-like state in the Brazilian Atlantic Forest. Perspect Ecol Conserv. 18(1):31–36.
- Santos Júnior, V. J., Prado, R. B., Lima, E. P., 2020. Modelagem geoecológica da suscetibilidade aos incêndios no Parque Estadual da Lapa Grande, Minas Gerais, Brasil. Revista Nucleus, 17.
- Silva, L. C. V., Fernandes, M. C., Menezes, P. M. L., Argento, M. S. F., 2009. Mapa Geoecológico De Potencialidade a Ocorrência de Incêndios no Parque Nacional Do Itatiaia. Revista Brasileira de Cartografia, 61, 285–292.
- Sousa, G. M., Coura, P. H. F., Fernandes, M. C., Menezes, P. M. L., 2009. Mapeamento geoecológico da potencialidade à ocorrência de incêndios no maciço da Pedra Branca/RJ. Anais

- do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, p. 4433–4440.
- Speltz, G. E., 1978. Incêndio florestal: resistência de algumas espécies. *Revista Silvicultura*, São Paulo, 2(10): 29-371.
- Tomzhinski, G. W., 2012. Análise Geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 165 p.
- Torres, F. T. P., Ribeiro, G. A., Martins, S. V., Lima, G. S., 2014. Mapeamento da suscetibilidade à ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. *Revista Árvore*, 38, 811–817.
- Valeriano, M. D. M., 2008. Topodata: Guia Para Utilização De Dados. *Inpe*, 8, 73.