



Avaliação da eficiência do índice de perigo de incêndios Fórmula de Monte Alegre (FMA) adaptada na microrregião de Curitiba, Paraná, Brasil

Heitor Renan Ferreira^{a*}, Antonio Carlos Batista^a, Alexandre França Tetto^a, Daniela Biondi^a

^a Universidade Federal do Paraná, Brasil

* Autor correspondente (bmheitorf@gmail.com)

INFO

Keywords

wildfire
prediction index
fire hazard fire
fire statistics

ABSTRACT

Evaluation of the efficiency of the adapted fire danger index Fórmula de Monte Alegre (FMA) in the microregion of Curitiba, Paraná, Brazil

Fire danger indices are essential in identifying fire warning situations in vegetation, facilitating more efficient and economical prevention and combat efforts planning. This study aimed to evaluate the effectiveness of the adapted fire danger index Fórmula de Monte Alegre (FMA) in 17 municipalities in the Curitiba microregion located in Paraná, Brazil. Data on the occurrence of fires in vegetation from the Paraná Military Fire Department were collected, as well as daily records of relative humidity and rainfall from 2011 to 2016. An analysis was carried out of the daily values of the degree of fire danger, the number of days with fire, and the number of occurrences according to the FMA during the period analyzed. Furthermore, efficiency was evaluated using a contingency table to calculate the Skill Score (SS) and Success Percentage (SP), to compare the observed and predicted values of vegetation fires in the same population. The results indicated an accuracy rate of 65.8% for fire occurrences and 80.2% for non-occurrences. The SS (0.42) and PS (70.9) values exceeded those of ten other comparative studies. Although the FMA performed satisfactorily for the study area, adjustments to the hazard level ranges are necessary to increase its effectiveness.

RESUMO

Palavras-chaves

incêndio florestal
índice de predição fogo
perigo de incêndio
estatística de incêndios

Os índices de perigo de incêndios desempenham um importante papel na identificação de situações de alerta de incêndios em vegetação, facilitando um planeamento mais eficiente e econômico dos esforços de prevenção e combate. Este estudo teve como objetivo avaliar a efetividade do índice de perigo de incêndios Fórmula de Monte Alegre (FMA) adaptada em 17 municípios da microrregião de Curitiba, localizada no Paraná, Brasil. Foram coletados dados sobre ocorrências de incêndios em vegetação do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná, bem como registros diários de umidade relativa e precipitação pluviométrica no período de 2011 a 2016. Foi realizada análise dos valores diários do grau de perigo de incêndio, do número de dias com incêndio e do número de ocorrências segundo a FMA no período analisado. Além disso, a eficiência foi avaliada por meio de uma tabela de contingência para cálculo da pontuação de Skill Score (SS) e Percentual de Sucesso (PS), a fim de comparar os valores observados e previstos de incêndios em vegetação em uma mesma população. Os resultados indicaram um índice de acerto de 65,8% para ocorrências de incêndio e 80,2% para não ocorrências. Os valores de SS (0,42) e PS (70,9) superaram os de outros dez estudos comparativos. Embora o FMA tenha apresentado desempenho satisfatório para a área de estudo, são necessários ajustes nos intervalos dos níveis de perigo para aumentar a sua eficácia.



INTRODUÇÃO

Os incêndios em vegetação, tanto naturais quanto de causa antrópica, exercem influência significativa nos diferentes ecossistemas, afetando a evolução biológica e os ciclos biogeoquímicos globais. Esses eventos têm gerado crescentes impactos socioeconômicos e ambientais em diversas regiões do planeta, afetando diretamente a flora, fauna, solo e qualidade do ar. Enquanto em alguns ecossistemas esses incêndios são ecologicamente essenciais, em outros representam uma perturbação não natural, podendo levar à destruição da vegetação e à degradação a longo prazo, especialmente em ambientes onde as plantas e animais não estão adaptados ao fogo (Bowman et al., 2011; Goldammer, 2000; Soares et al., 2017; Hardesty et al., 2005).

As variáveis meteorológicas apresentam influência na ocorrência dos incêndios em vegetação. De acordo com Brown e Davis (1959), embora os combustíveis florestais determinem a potencialidade da propagação, a dimensão dos danos causados e a dificuldade no controle do fogo, as condições meteorológicas determinam o nível atual desse potencial. A precipitação influencia imediatamente sobre a umidade relativa e a umidade dos combustíveis mortos, afetando dias depois nos combustíveis vivos ao incorporar a água do solo nos tecidos das plantas (Macedo e Sardinha, 1987; Fimia, 2009).

Dentre as diversas estratégias preventivas existentes, que utilizam as informações oriundas do histórico de registros de incêndios, há a possibilidade de implantação de protocolos de acionamento de guarnições auxiliares para o combate ao fogo. Nesse contexto, os índices de predição de incêndio se mostram eficientes, pois classificam de acordo

com um grau de perigo a probabilidade da ocorrência de incêndios, trazendo ao gestor uma vantagem na antecipação destes eventos (Soares et al., 2017; Vélez, 2009).

A microrregião de Curitiba possui uma extensa área vegetativa que engloba zoneamentos rurais com atividades agropastoris, remanescentes de vegetações nativas e lotes urbanos com vegetação. Com o crescimento das atividades humanas na região, incluindo a expansão das zonas urbanas em direção às áreas rurais, há uma tendência de aumento nos incidentes de incêndios em vegetação, afetando a sociedade tanto diretamente quanto indiretamente e aproximando-a da realidade do fogo.

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do índice de perigo de incêndio através da Fórmula de Monte Alegre (FMA) adaptada em 17 municípios da microrregião de Curitiba, no Paraná, Brasil. Para isso, foi realizada uma análise da sua efetividade por meio do estudo dos incêndios em vegetação ocorridos na área de estudo durante o período de 2011 a 2016.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo compreende 17 municípios da microrregião de Curitiba, Paraná, Brasil. Localizada na porção leste do estado, a região possui 7.481,384 km² e seus limites norte e sul são demarcados pelas coordenadas UTM fuso 22S N 7.247.807 m/E 704.028 m e N 7.141.429 m/E 666.506 m, respectivamente (Figura1) (Instituto Água e Terra - IAT, 2019).

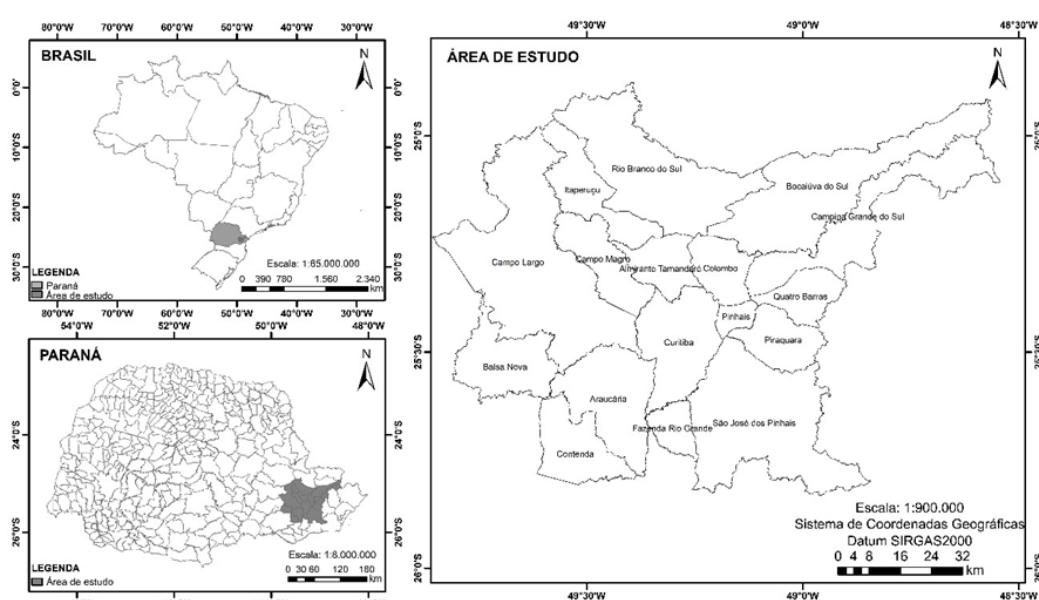


Figura 1 – Localização da área de estudo
Fonte: IAT (2019), elaborado pelos autores (2024)

A delimitação da área de estudo considerou dois possíveis critérios para a inclusão de municípios:

- I- Municípios com 50% ou mais de seu território dentro de uma circunferência de raio de 40 km: Esta área foi estabelecida com base na estação meteorológica de Curitiba (coordenadas UTM fuso 22S N 7.184.262 m/E 672.861 m) e representa o limite de confiabilidade para a obtenção de índices de predição de incêndios (Soares et al., 2017); ou
- II- Nos casos em que o município apresentou menos que 50% de seu território dentro de uma circunferência de raio de 40 km, foram

selecionados os municípios que apresentaram maior número de ocorrências geolocalizadas de incêndios em vegetação dentro da circunferência: Este critério foi utilizado para garantir que a área de estudo contemplasse as regiões com maior risco de incêndios florestais, de acordo com os resultados do estudo de Ferreira (2021), onde verificou que dos 21 municípios abrangidos pela circunferência de 40 km, 17 destes atenderam a este critério.

A tabela 1 apresenta os municípios integrantes da área de estudo, incluindo o quantitativo de incêndios em vegetação e o critério atingido.

Tabela 1 – Distribuição do número de incêndios em vegetação e critério enquadrado por cada município integrante da área de estudo.

MUNICÍPIO	Nº INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO	CRITÉRIO
Almirante Tamandaré	252	I e II
Araucária	433	I e II
Balsa Nova	27	II
Bocaiúva do Sul	19	II
Campina Grande do Sul	282	II
Campo Largo	346	II
Campo Magro	29	I e II
Colombo	508	I e II
Contenda	5	I e II
Curitiba	1.622	I e II
Fazenda Rio Grande	176	I e II
Itaperuçu	35	II
Pinhais	142	I e II
Piraquara	178	I e II
Quatro Barras	178	I e II
Rio Branco do Sul	119	II
São José dos Pinhais	635	I e II
TOTAL	4.986	-

Fonte: Ferreira (2021), elaborado pelos autores (2024).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima predominante na área de estudo é o Cfb, caracterizado como temperado, sem estação seca e com verões frescos. No entanto, a porção norte apresenta clima Cfa, subtropical com verões quentes, geadas pouco frequentes e maior concentração de chuvas no verão (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, 2018).

A Figura 2 ilustra a distribuição da média anual de precipitação entre 2011 e 2016, obtida através das estações pluviométricas do Instituto Água e Terra (IAT, 2020). Também é apresentada a média anual da precipitação normal, de 1981 a 2010, segundo o estudo de Alvares et al. (2013).

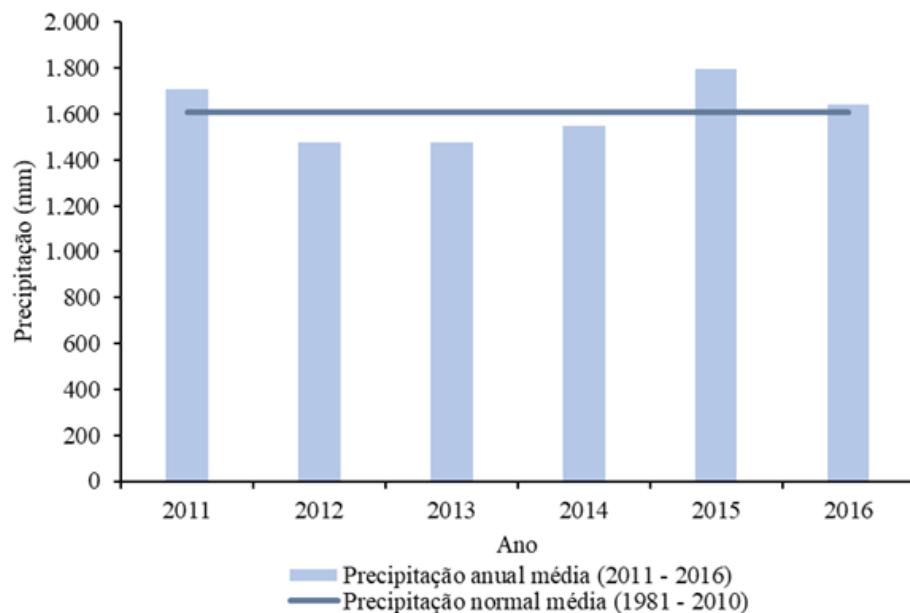


Figura 2 – Distribuição da precipitação anual na área de estudo

Fonte: Alvares et. al (2013); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

Comparando a precipitação anual média com a normal, verifica-se que os anos de 2013 e 2015 apresentaram as maiores variações. Em 2013, a precipitação foi de 1.477 mm, apresentando 8,1% abaixo da normal, enquanto em 2015 foi de 1.796,8 mm, apresentando 11,8% acima. A média anual do período (2011-2016) foi de 1.608,4 mm, próxima da precipitação normal (1.607 mm), demonstrando a baixa variabilidade no período.

A área de estudo está originalmente inserida na região fitogeográfica limítrofe de campos naturais e floresta com araucária (Floresta Ombrófila Mista), bem como regiões com Floresta Ombrófila Densa (Maack, 2012), fazendo parte do bioma Mata Atlântica. No ano de 2016, 87,2% da área era coberta por vegetação (incluindo agricultura, pastagem, formações florestais, entre outras áreas vegetadas) e 12,2% sem vegetação (áreas urbanizadas, mineração, corpos d'água, entre outras áreas não vegetadas), de acordo com o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MAPBIOMAS, 2024).

Obtenção das variáveis meteorológicas

O período de 2011 a 2016 foi o adotado para obtenção das variáveis meteorológicas. Para a variável umidade do ar, foi utilizado os dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020) referentes à estação meteorológica de Curitiba. A coleta foi realizada para a medição específica das 12 horas.

Os dados de precipitação diária foram obtidos a

partir de 11 estações pluviométricas integradas ao Sistema de Informações Hidrológicas do IAT, conforme ilustrado na Figura 3. Para determinar a precipitação diária da área de estudo, calculou-se a média das precipitações registradas nas 11 estações.

A estação pluviométrica localizada em Mandirituba foi considerada apesar do município não ser englobado na área de estudo por não apresentar mais de 50% de sua área no raio de circunferência de 40 km, bem como não apresentar maior número de ocorrências geolocalizadas de incêndios em vegetação dentro desta circunferência.

Para definir os dias sem precipitação na área de estudo, seguimos a metodologia recomendada por Minuzzi et al. (2007), Tetto et al. (2010a) e Tetto et al. (2012). Considerou-se como dia sem precipitação qualquer dia em que a média da precipitação pluviométrica registrada em toda a área de estudo for inferior a 1,0 mm.

Obtenção e análise dos registros de incêndios

Para analisar as ocorrências de incêndios em vegetação, foram obtidos os registros intitulados como “incêndio ambiental” do período de 2011 a 2016, através da base de dados do Sistema de Registro e Estatística de Ocorrências do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (SYSBM-CCB) na versão 3.31. No entanto, até junho de 2017, essa mesma classificação era utilizada para outros tipos de incêndios, como em resíduos urbanos (“entulhos”), dificultando as análises quantitativas e qualitativas dos dados.

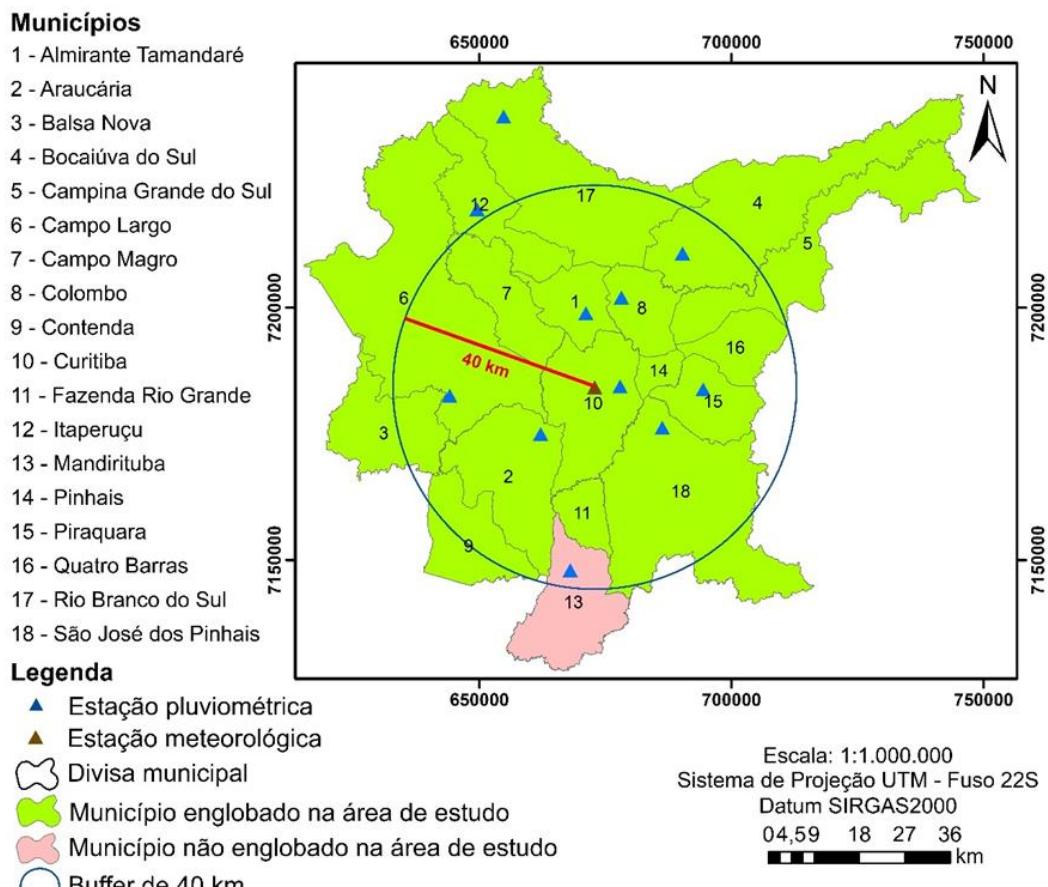


Figura 3 – Localização das estações pluviométricas e meteorológica
Fonte: IAT (2019); IAT (2020), INMET (2020); elaborado pelos autores (2024)

As ocorrências atendidas pela instituição eram registradas no formulário de Registro Geral de Ocorrência (RGO) e posteriormente transferidas para o sistema digital após o retorno da guarnição ao Posto de Bombeiros (PB). O RGO contém informações como data, viatura empregada, endereço, natureza da ocorrência, horários de acionamento e chegada ao local, descrição da situação, tipo de material atingido e presença de vítimas.

É importante observar que nem todos os municípios possuem postos de bombeiros, que geralmente são alocados em áreas mais populosas e urbanizadas. Diversos fatores podem influenciar a decisão de enviar recursos para emergências, sendo a distância do posto de bombeiros mais próximo um deles. Isso ocorre porque o deslocamento de uma viatura pode deixar a área de origem vulnerável a tempos de resposta mais longos para outras emergências, como incêndios em edifícios e acidentes de trânsito.

Consequentemente, quando o fator distância é um fator relevante, há uma avaliação mais criteriosa durante a triagem de solicitações de emergência para envio de viaturas, especialmente para resíduos

domiciliares e industriais, o que pode afetar a contabilização de incêndios em vegetação no período.

As informações gerais das ocorrências de "incêndio ambiental" estão disponíveis ao público no site do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná. No entanto, informações detalhadas, como descrições da situação no local, requerem acesso autorizado fornecido pela corporação. Para este estudo, foi obtida permissão para acessar os dados de "incêndio ambiental" de 2011 a 2016.

Após a obtenção dos dados, cada ocorrência foi analisada individualmente para verificar suas características, incluindo os campos relacionados à descrição da solicitação, situação encontrada no local, ações realizadas e bens destruídos.

Essa análise baseou-se na identificação de elementos que caracterizassem incêndios em vegetação, conforme a definição de incêndio florestal no estado do Paraná, estabelecida pelo artigo 1º do decreto estadual nº 4.223, de 14 de abril de 1998 (Paraná, 1998), qual "Considera-se incêndio florestal, todo fogo sem controle sobre qualquer forma de vegetação, provocado pelo homem intencionalmente ou por negligência, ou ainda por fonte natural". Também foi amparada em literaturas nacionais e

internacionais que consideram o incêndio florestal como qualquer incêndio que afete formas de vegetação.

Além da análise da terminologia presente nos RGOs, foram considerados também termos análogos, como incêndios em floresta, mata, árvore, capim, cultura agrícola, entre outros. Quando confirmada a presença de evidências de incêndio em vegetação em um dos quatro campos analisados, o RGO foi classificado como "incêndio em vegetação"; no entanto, caso não atendesse a essa condição, foi classificado como "outro tipo de incêndio".

Determinação do índice de perigo de incêndio

Para determinar o índice de perigo de incêndios, adotou-se a "Fórmula de Monte Alegre" (FMA) proposta por Soares (1972) adaptada. Esta fórmula utiliza diretamente a umidade relativa do ar medida às 13 horas e, como fator restritivo, o cumulativo

da precipitação pluviométrica, representado na seguinte equação:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{H_i} \right)$$

Onde:

FMA = Fórmula de Monte Alegre

H_i = umidade relativa do ar (%), medida às 13 horas
 n = número de "i" dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm

Foi realizada uma adaptação da FMA para a utilização da umidade relativa do ar medida às 12 horas, uma vez que a estação meteorológica de onde os dados foram obtidos realiza as medições ao meio-dia. A restrição ao somatório da FMA, com base na precipitação pluviométrica do dia, está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Restrições à somatória da FMA, de acordo com a precipitação do dia

CHUVA DO DIA (mm)	MODIFICAÇÃO DO CÁLCULO
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% da FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% da FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% da FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA = 0) e recomeçar a somatória no dia seguinte.

Fonte: Soares (1972), elaborado pelos autores (2024).

A Tabela 3 apresenta a escala utilizada para interpretação do grau de perigo estimado pela FMA.

Tabela 3 – Escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre

VALOR DE FMA	GRAU DE PERIGO
≤ 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
> 20,0	Muito alto

Fonte: Soares (1972), elaborado pelos autores (2024).

Foi verificado o grau de perigo de incêndios de acordo com a FMA diariamente no período analisado na área de estudo. A eficiência da FMA na previsão do perigo de incêndios nesse período foi avaliada por meio da distribuição do número de dias, número de dias com incêndio e número de ocorrências de acordo com o grau de perigo.

Além disso, foi analisada a distribuição diária de acordo com o grau de perigo de incêndio, considerando intervalos de classe fixos de quatro ocorrências ao dia. Isso foi feito porque determinado grau de perigo de incêndios pode apresentar maior pre-

dominância do que outros devido ao fato de registrar apenas um incêndio em 24 horas.

A eficiência da FMA foi ainda avaliada por meio de uma tabela de contingência para obtenção do *Skill Score* (SS) e da Porcentagem de Sucesso (PS), conforme Sampaio (1999). Esse método se baseia nos casos previstos e observados (incêndio e não incêndio), comparando os valores observados e previstos do evento em uma mesma população.

Para o cálculo da tabela de contingência, seguimos a abordagem de Sampaio (1999), Tetto (2012), Nunes (2005), Kovalsky (2016) e Ferreira (2016). Os índices "nulo" e "pequeno" foram considerados

como não indicativos de perigo de incêndio, enquanto os índices "médio", "alto" e "muito alto" fo-

ram interpretados como indicação de perigo de incêndio. As Tabelas 4 e 5 apresentam a tabela de contingência utilizada para o cálculo do *Skill Score*.

Tabela 4 – Tabela de contingência

EVENTO	OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
	INCÊNDIO	NÃO INCÊNDIO	
PREVISTO	INCÊNDIO	a	b
	NÃO INCÊNDIO	c	d
TOTAL OBSERVADO	N1 = a + c	N3 = b + d	N = a + b + c + d

Fonte: Sampaio (1999), elaborado pelos autores (2024).

Tabela 5 – Cálculo da tabela de contingência

EVENTO	OBSERVADO		TOTAL PREVISTO
	INCÊNDIO	NÃO INCÊNDIO	
PREVISTO	INCÊNDIO	a / (a + c)	b / (b + d)
	NÃO INCÊNDIO	c / (a + c)	d / (b + d)
TOTAL OBSERVADO	1	1	2

Fonte: Sampaio (1999), elaborado pelos autores (2024).

Tem como variáveis:

N: número total de observações ($N = a + b + c + d$)

G: número de acertos na previsão ($G = a + d$)

H: número de acertos esperado [$H = N \cdot (1 - p) \cdot (1 - q) + N \cdot p \cdot q$]

Onde:

$p = N_1 / N$

$q = N_2 / N$

SS (Skill Score) = $(G - H) / (N - H)$

PS (Porcentagem de Sucesso) = G / N

Quanto maior o valor do *Skill Score* e de Porcentagem de Sucesso obtidos, melhor é o desempenho da fórmula para o local e período testado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2011 e 2016, o Corpo de Bombeiros Militar do Paraná registrou 6.992 ocorrências de

"incêndio ambiental". Após análise, 4.986 (71,3%) foram confirmados como incêndios em vegetação, enquanto 2.006 (28,7%) não se caracterizaram como tal e foram descartados.

Estudos anteriores no Paraná também realizaram filtros em dados do SYSBM-CCB. Lorenzetto (2012) analisou o período de 2007 a 2010 para o estado do Paraná e descartou registros sem informação de área queimada, validando 68,2% dos 40.479 registros. Kovalsky et al. (2014) analisaram o município de Ponta Grossa entre 2006 e 2013 e classificaram 50,2% dos 1.596 registros como incêndios em vegetação.

No presente estudo, dos 2.192 dias possíveis, 1.084 (49,5%) registraram incêndios em vegetação.

A Figura 4 apresenta a distribuição do número de dias com incêndio de acordo com o grau de perigo de incêndio para a área de estudo.

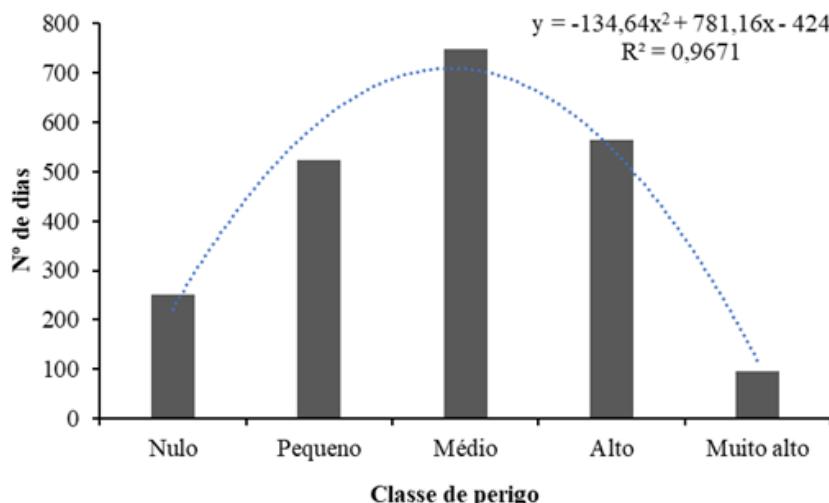


Figura 4 - Distribuição do número de dias do período analisado de acordo com o grau de perigo de incêndio
Fonte: INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A análise do grau de perigo de incêndios revela que a classe "médio" foi a mais prevalente, com 749 dias (34,2%). As classes "alto" e "pequeno" seguiram com 566 (25,8%) e 525 dias (24,0%), respectivamente. As classes "nulo" e "muito alto" apresentaram os menores valores, com 253 (11,5%) e 99 dias (4,5%), respectivamente.

Tetto (2012, p. 88) afirma que "a distribuição esperada para os índices ajustados é a de um maior número de dias na classe "médio", decrescendo gradualmente esses valores para as classes mais extremas".

A análise gráfica demonstra que os valores da

FMA no período analisado foram satisfatórios, pois a maior concentração de dias se deu na classe "médio", sem predominância nas classes extremas. Isso evita a necessidade de alocação excessiva ou insuficiente de recursos.

Os resultados do estudo corroboram essa afirmação, indicando que a FMA está em consonância com o comportamento esperado para o índice de perigo de incêndios.

A Figura 5 apresenta a distribuição do número de dias com incêndio de acordo com cada classe de perigo.

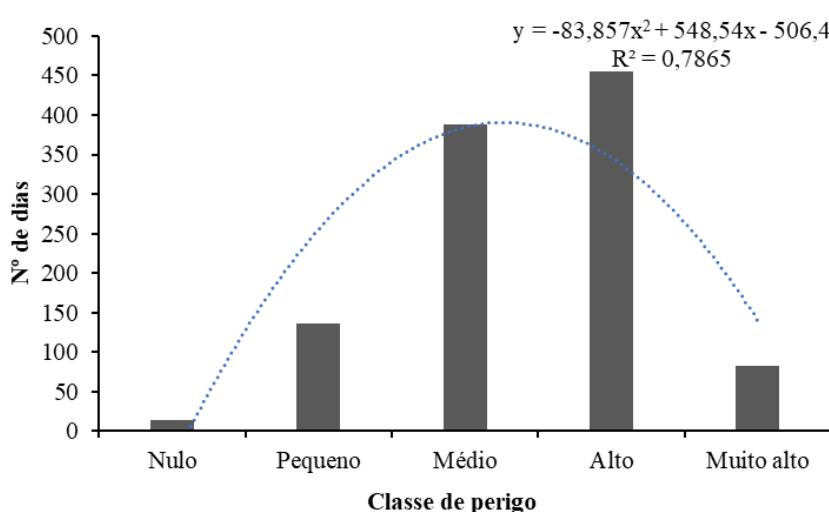


Figura 5 - Distribuição do número de dias com incêndio de acordo com o grau de perigo de incêndio
Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A análise da distribuição dos dias com incêndio demonstra que as classes de perigo predominantes no período estudado foram "alto" e "médio", com 456 (42,1%) e 390 dias (36,0%), respectivamente.

A classe "pequeno" representou 138 dias (12,7%), seguida por "muito alto" com 84 dias (7,7%) e "nulo" com 16 dias (1,5%).

Embora as classes "médio", "alto" e "muito alto"

concentrassem 85,8% dos dias com incêndios, o ideal seria uma distribuição crescente que englobasse todas as classes, inclusive a "muito alto". Isso indicaria a necessidade de um ajuste da FMA para a área de estudo, conforme sugerido por Tetto et al.

Tabela 6 – Distribuição dos dias de acordo com o grau de perigo de incêndio considerando intervalos de classe fixos de quatro ocorrências ao dia

GRAU DE PERIGO DE INCÊNDIOS	DIAS COM INCÊNDIO									
	$\geq 1 < 5$ ocorr.		$\geq 5 < 10$ ocorr.		$\geq 10 < 15$ ocorr.		≥ 15 ocorr.		TOTAL	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
Nulo	16	100	0	0,0	0	0,0	0	0,0	16	1,5
Pequeno	129	93,5	9	6,5	0	0,0	0	0,0	138	12,7
Médio	302	77,4	64	16,4	13	3,3	11	2,8	390	36,0
Alto	247	54,2	124	27,2	41	9,0	44	9,6	456	42,1
Muito alto	29	34,5	34	40,5	7	8,3	14	16,7	84	7,7
TOTAL	723	66,7	231	21,3	61	5,6	69	6,4	1.084	100

Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

Nota: Ocorr. = Ocorrências.

A concentração de dias com incêndio das classes "nulo" (16 dias - 100%) e "pequeno" (129 dias - 93,5%) ocorreu principalmente no intervalo de 1 a 4 ocorrências. O grau "médio" também apresentou maior número de dias com incêndio no intervalo de 1 a 4 ocorrências (302 dias - 77,4%), diminuindo mais abruptamente do que o grau "alto" nas demais faixas.

O grau "muito alto" apresentou mais dias com incêndio no intervalo de 5 a 9 ocorrências do que no intervalo anterior (de 1 a 4 ocorrências), bem

(2010b), Tetto (2012) e Borges et al. (2011).

A Tabela 6 detalha a distribuição dos dias de acordo com o grau de perigo de incêndio, utilizando intervalos de classe fixos de quatro ocorrências ao dia.

como no intervalo igual ou maior que 15 ocorrências do que no intervalo de 10 a 14 ocorrências.

Isso indica que a maior concentração de dias com registros da classe "pequeno" em comparação com a classe "muito alto" está relacionada a um maior número de dias com poucas ocorrências.

A Tabela 7 mostra a porcentagem de dias com incêndios de acordo com o grau diário de perigo previsto, permitindo avaliar a porcentagem de dias com incêndios para cada grau de perigo previsto.

Tabela 7 – Dias com incêndio de acordo com os dias previstos de determinado grau de perigo

GRAU DE PERIGO	DIAS COM INCÊNDIO OBSERVADO		DIAS PREVISTOS	
	n°	%	n°	%
Nulo	16	6,3	253	100
Pequeno	138	26,3	525	100
Médio	390	52,1	749	100
Alto	456	80,6	566	100
Muito alto	84	84,8	99	100

Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A Tabela 7 demonstra que os graus de perigo de incêndio apresentaram um resultado satisfatório, com valores percentuais crescentes da classe "nulo" para o grau "muito alto". Isso indica que quanto mais crítica a classificação do grau de perigo diário,

maior a porcentagem de acerto de ao menos um incêndio ao dia.

A Figura 6 apresenta a distribuição do número de registros de incêndios de acordo com o grau de perigo de incêndio.

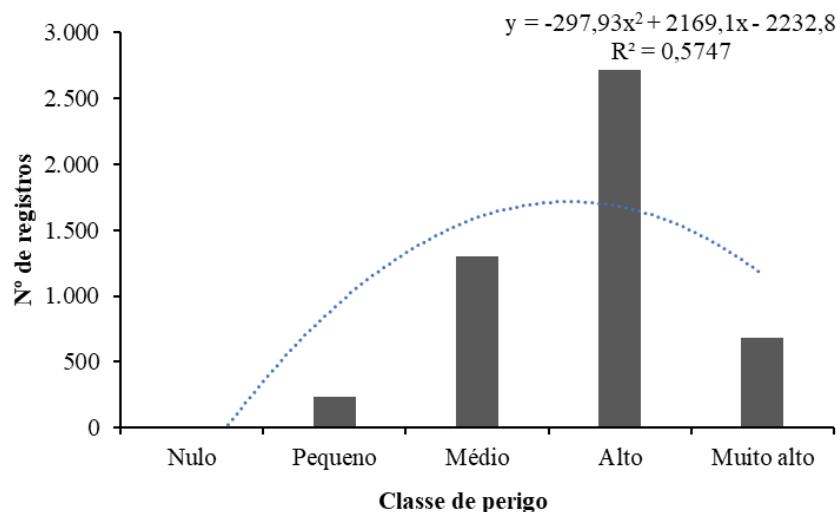


Figura 5 - Distribuição do número de ocorrências de acordo com o grau de perigo de incêndio
Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A análise da distribuição dos dias com incêndio demonstra que as classes de perigo predominantes no período estudado foram "alto" e "médio", com 456 (42,1%) e 390 dias (36,0%), respectivamente. A classe "pequeno" representou 138 dias (12,7%), seguida por "muito alto" com 84 dias (7,7%) e "nulo" com 16 dias (1,5%).

Embora as classes "médio", "alto" e "muito alto" concentrassem 85,8% dos dias com incêndios, o

ideal seria uma distribuição crescente que englobasse todas as classes, inclusive a "muito alto". Isso indicaria a necessidade de um ajuste da FMA para a área de estudo, conforme sugerido por Tetto et al. (2010b), Tetto (2012) e Borges et al. (2011).

A Tabela 6 detalha a distribuição dos dias de acordo com o grau de perigo de incêndio, utilizando intervalos de classe fixos de quatro ocorrências ao dia.

Tabela 6 – Distribuição dos dias de acordo com o grau de perigo de incêndio considerando intervalos de classe fixos de quatro ocorrências ao dia

GRAU DE PERIGO DE INCÊNDIOS	DIAS COM INCÊNDIO									
	≥ 1 < 5 ocorr.		≥ 5 < 10 ocorr.		≥ 10 < 15 ocorr.		≥ 15 ocorr.		TOTAL	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
Nulo	16	100	0	0,0	0	0,0	0	0,0	16	1,5
Pequeno	129	93,5	9	6,5	0	0,0	0	0,0	138	12,7
Médio	302	77,4	64	16,4	13	3,3	11	2,8	390	36,0
Alto	247	54,2	124	27,2	41	9,0	44	9,6	456	42,1
Muito alto	29	34,5	34	40,5	7	8,3	14	16,7	84	7,7
TOTAL	723	66,7	231	21,3	61	5,6	69	6,4	1.084	100

Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

Nota: Ocorr. = Ocorrências.

A concentração de dias com incêndio das classes "nulo" (16 dias - 100%) e "pequeno" (129 dias - 93,5%) ocorreu principalmente no intervalo de 1 a 4 ocorrências. O grau "médio" também apresentou maior número de dias com incêndio no intervalo de 1 a 4 ocorrências (302 dias - 77,4%), diminuindo mais abruptamente do que o grau "alto" nas demais faixas.

O grau "muito alto" apresentou mais dias com incêndio no intervalo de 5 a 9 ocorrências do que

no intervalo anterior (de 1 a 4 ocorrências), bem como no intervalo igual ou maior que 15 ocorrências do que no intervalo de 10 a 14 ocorrências.

Isso indica que a maior concentração de dias com registros da classe "pequeno" em comparação com a classe "muito alto" está relacionada a um maior número de dias com poucas ocorrências.

A Tabela 7 mostra a porcentagem de dias com incêndios de acordo com o grau diário de perigo previsto, permitindo avaliar a porcentagem de dias

com incêndios para cada grau de perigo previsto.

Tabela 7 – Dias com incêndio de acordo com os dias previstos de determinado grau de perigo

GRAU DE PERIGO	DIAS COM INCÊNDIO OBSERVADO		DIAS PREVISTOS	
	n°	%	n°	%
Nulo	16	6,3	253	100
Pequeno	138	26,3	525	100
Médio	390	52,1	749	100
Alto	456	80,6	566	100
Muito alto	84	84,8	99	100

Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A Tabela 7 demonstra que os graus de perigo de incêndio apresentaram um resultado satisfatório, com valores percentuais crescentes da classe "nulo" para o grau "muito alto". Isso indica que quanto mais crítica a classificação do grau de perigo diário,

maior a porcentagem de acerto de ao menos um incêndio ao dia.

A Figura 6 apresenta a distribuição do número de registros de incêndios de acordo com o grau de perigo de incêndio.

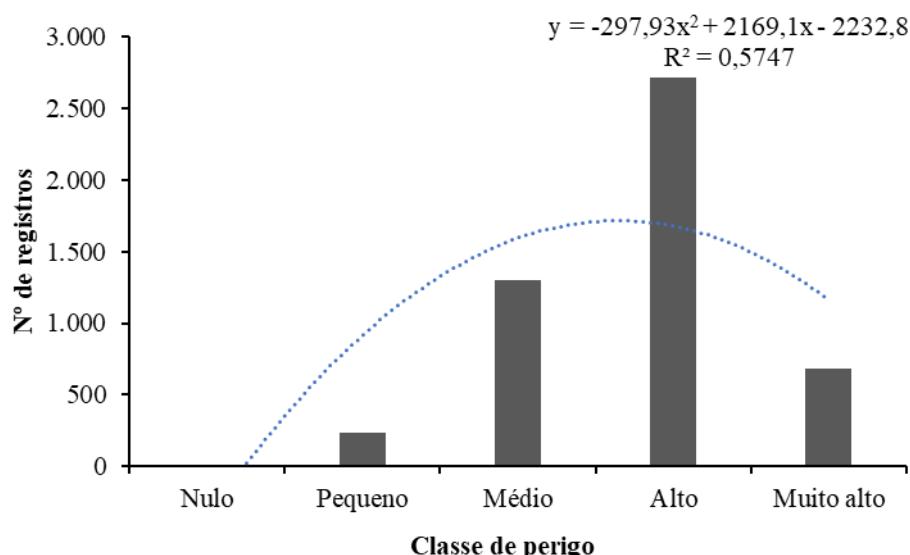


Figura 5 - Distribuição do número de ocorrências de acordo com o grau de perigo de incêndio
Fonte: SYSBM-CCB (2019); INMET (2020); IAT (2020), elaborado pelos autores (2024).

A figura 5 mostra que as classes "alto" (2.725 ocorrências - 54,6%) e "médio" (1.306 ocorrências - 26,2%) são predominantes na área de estudo. O grau "muito alto" apresentou 688 ocorrências (13,8%), enquanto as classes "pequeno" e "nulo" tiveram 248 (5,0%) e 19 ocorrências (0,4%), respectivamente.

Considerando que um menor número de ocorrências nas classes "nulo" e "pequeno" indica um comportamento mais satisfatório da fórmula, observa-se que a Figura 6 apresentou um bom desempenho, pois as classes "médio", "alto" e "muito alto" representaram 94,6% das ocorrências.

No entanto, o comportamento gráfico esperado,

que demonstraria um ajuste da FMA, seria crescente da classe "nulo" para a "muito alto" (Tetto et al., 2010b; Tetto, 2012; Nunes, 2005; Nunes et al., 2010). Portanto, o desempenho seria mais satisfatório com uma maior concentração das ocorrências na classe "muito alto", indicando a necessidade de ajuste da fórmula.

Comparando com estudos que utilizaram registros de ocorrências em vez de focos de calor, autores como Nunes et al. (2010), Pajewski (2016) e Tetto et al. (2010b) verificaram a necessidade de ajustes da FMA em suas áreas de estudo, tanto para os dias com registro quanto para o número de registros relacionados às classes de perigo de incêndio. No

entanto, Borges et al. (2011), Tetto (2012), Kovalsyki (2016), Mbanze et al. (2017) e Zucchi e Tetto (2020) encontraram um desempenho gráfico satisfatório, indicando que a FMA está ajustada em suas áreas de estudo durante os períodos analisados.

É importante ressaltar que tanto Tetto (2012) quanto Kovalsyki (2016) relataram que, apesar do desempenho satisfatório da FMA em suas áreas de estudo, é possível otimizá-la com ajustes nas classes de limites superior e inferior, semelhante à situação encontrada neste estudo.

Os valores obtidos através da tabela de contingência foram: 0,420 para o Skill Score, 70,9 para a

Porcentagem de Sucesso da FMA, 65,8% de acerto nas previsões de ocorrência de incêndio e 80,2% de acerto nas previsões de não ocorrência de incêndio.

Os valores de acerto na ocorrência de incêndio e de acerto na não ocorrência de incêndio foram satisfatórios, demonstrando a eficiência da FMA na área de estudo.

Para avaliar o SS e a PS, é necessário fazer comparações com outros estudos que avaliaram a eficiência da FMA usando a tabela de contingência com registros de ocorrências de incêndios em vegetação (Tabela 8)

Tabela 8 – Resultado de SS e PS obtidos por diferentes estudos

AUTOR	ÁREA DE ESTUDO	LOCALIZAÇÃO	PERÍODO	SS	PS
Tetto (2012)	Empresa florestal	Telêmaco Borba, PR	1965 - 2009	0,063	39,6
Sampaio (1999)	Empresa florestal	Agudos, SP	1984 - 1995	0,061	36,9
Nunes et al. (2010)	Empresa florestal	Telêmaco Borba, PR	1998 - 2003	0,052	34,3
Borges et al. (2011)	Empresa florestal	Norte do Espírito Santo	2003 - 2006	0,095	38,5
Rodríguez et al. (2012)	Empresa florestal	Pinar del Rio, Cuba	2006 - 2011	0,041	40,4
Mbanze et al. (2017)	Empresa florestal	Lichinga, Moçambique	2010 - 2012	0,070	35,6
Torres et al. (2008)	Município	Juiz de Fora, MG	1995 - 2004	0,388	68,0
Kovalsyki (2016)	Município	Ponta Grossa, PR	2006 - 2014	0,202	51,9
Souza (2014)	Município	Lajes, SC	2009 - 2013	0,215	67,4
Zucchi e Tetto (2020)	Município	Maringá, PR	2009 - 2010	0,373	66,6
O presente estudo	Municípios	RMC, PR	2011 - 2016	0,420	70,9

Fonte: Os autores (2024)

Nota: RMC = Região Metropolitana de Curitiba.

Em comparação com outros estudos, o valor de SS (0,420) e a PS (70,9%) obtidos na área de estudo foram superiores aos demais, demonstrando uma eficiência satisfatória quando analisados isoladamente. No entanto, observa-se que tanto a área do presente estudo quanto as pesquisas baseadas em municípios apresentaram valores de SS e PS superiores aos que utilizaram áreas localizadas em empresas florestais como objeto de estudo.

Como a área de estudo abrange áreas urbanas e rurais, incluindo interfaces urbano-rurais, suas características são semelhantes às dos municípios estudados pelos autores citados, e a presença antrópica é evidentemente mais presente do que em áreas florestais.

Como a tabela de contingência considera a ocorrência pelo menos um registro para o acerto na ocorrência de incêndio, e apesar de as ocorrências geralmente não apresentarem perícias ou estatísticas confiáveis para identificar as principais causas do início do fogo, há uma tendência de que o fator humano esteja diretamente relacionado como causa principal. Portanto, é possível que tanto a área de

estudo quanto os estudos localizados em municípios apresentem valores superiores às demais pesquisas que tiveram áreas de estudo restritas a empresas florestais.

Verifica-se assim que a análise individual do SS, PS ou distribuição do número de dias, dias com registros e registros de acordo com o grau de perigo de incêndios não representa uma avaliação confiável, sendo necessária a análise dessas variáveis em conjunto.

CONCLUSÕES

Com base nos achados deste estudo, é possível inferir que:

- A ferramenta FMA demonstrou um desempenho considerável na previsão de risco de incêndio, evidenciado por um *Score Skill* (SS) de 0,420 e uma Probabilidade de Sucesso (PS) de 70,9% na área de estudo;
- O levantamento dos dias e o registro de incêndios revelaram uma concentração significativa nas categorias de perigo "médio" e

- "alto";
- A capacidade preditiva da FMA se mostrou eficaz tanto na identificação de dias propensos a incêndios quanto naqueles livres desses eventos;
- Embora a FMA tenha apresentado um desempenho satisfatório para a área de estudo, sugere-se ajustes nos intervalos de classificação de perigo para aprimorar efetividade.

Portanto, este estudo contribui para a previsão e gestão de incêndios em vegetação, fornecendo perspectivas importantes sobre a eficácia da ferramenta FMA adaptada. Além disso, serve como subsídio para políticas públicas voltadas a prevenção dos incêndios em vegetação, incluindo no auxílio da elaboração de protocolos para o acionamento de equipes no combate ao fogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Borges TS, Fiedler NC, Santos AR, Loureiro EB, Mafia RG. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. Floresta e Ambiente, v. 18, n. 2, p. 153-159, 2011. <https://doi.org/10.4322/floram.2011.033>
- Bowman DMJS, Balch J, Artaxo P, Bond WJ, Cochrane MA, D'antonio CM, Defries R, Johnston FH, Keeley JE, Krawchuk MA, Kull CA, Mack M, Moritz MA, Pyne S, Roos, CI, Scott AC, Sodhi NS, Swetnam TW. The human dimension of fire regimes on Earth. Journal of Biogeography, v. 38, p. 2223-2236, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595.x>
- Brown AA, Davis KP. Forest Fire: Control and Use. 2 ed. Estados Unidos da América: McGRAW-HILL, 686 p. 1959.
- Ferreira HR. Análise das ocorrências de incêndios em vegetação na região metropolitana de curitiba-pr, no período de 2011 a 2016. Ano de obtenção: 2021. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Ferreira HR. Ocorrências de incêndio em vegetação, no período de 2011 a 2015, no município de Curitiba-PR. Ano de obtenção: 2016. 63 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Fimia JCM. Factores ambientales: factores meteorológicos. In: VÉLEZ, R. M. (Coord.). La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias. 2 ed. Madrid: McGRAW-HILL, p. 145-149. 2009.
- Goldammer J. Global fire issues. Wald-info 26 - Management and conservation of natural resources section, p. 5-10. 2000.
- Hardesty J, Myers R, Fulks W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. The George Wright Forum, v. 22, n. 5, p. 78-87, 2005.
- Instituto Água e Terra (IAT). Relatório de cálculo de área dos municípios do estado do Paraná - ano 2019. 2019. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/relatorio_de_calculo_de_area_dos_municípios_do_parana2019.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR). Classificação climática. 2019. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2020. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em 10 out. 2020.
- Kovalskyi B, Tetto AF, Batista AC, Sousa NJ, Takashina IK. Avaliação da eficiência da Fórmula de Monte Alegre para o município de Ponta Grossa-PR. Encyclopédia Biosfera, v. 10, n. 19, p. 208-218, 2014.
- Kovalskyi B. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Parque Estadual de Vila Velha e seu entorno. Ano de obtenção: 2016. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Lorenzetto D. Avaliação da eficiência do combate aos incêndios florestais realizados pelo Corpo de Bombeiros do Paraná. Ano de obtenção: 2012. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Maack R. Geografia física do Estado do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 4. ed., 526 p. 2012.
- Macedo FW, Sardinha AM. Fogos florestais. Lisboa: Publicações Ciência e Vida, v. 2, 342 p. 1987.
- Mbanze AA, Batista AC, Tetto AF, Romero AM, Mudekwe J. Desempenho dos índices de Nesterov e Fórmula de Monte Alegre no distrito de Lichinga, norte de Moçambique. Ciência Florestal, v. 27, n. 2, p. 338-344, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509827753>
- Minuzzi RB, Sediyama GC, Barbosa EM, Melo Júnior JCF. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000300007>
- Nunes JRS, Fier ISN, Soares RV, Batista AC. Desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre alterada (FMA+) no distrito florestal de Monte Alegre. Floresta, v. 40, n. 2, p. 319-326, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i2.17827>
- Nunes JRS. FMA+ - um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná-Brasil. Ano de obtenção: 2005. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Pajewski FF. Ajuste do índice de perigo de incêndios FMA para o estado do Paraná. Ano de obtenção: 2016. 10 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Paraná. Decreto 4.224 de 14 de abril de 1998. Considera incêndio florestal, todo fogo sem controle sobre qualquer forma de vegetação, provocado pelo homem intencionalmente ou por negligência, ou ainda por fonte natural. Diário oficial, Curitiba, 1998. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisa-Ato.do?action=exibir&codAto=48580&indice=1&totalRegistros=1&dt=22.2.2020.18.49.2.922>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (MAPBIOMAS). Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2024. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

Rodríguez MPR, Soares RV, Batista AC, Tetto AF, Sierra CAM, Rodríguez YC. Ajuste e desempenho dos índices de perigo de incêndios Nesterov, FMA e FMA+ na empresa florestal Macurije, Cuba. Floresta, v. 42, n. 4, p. 651-660, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i4.28659>

Sampaio OB. Análise da eficiência de quatro índices, na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos-SP. Ano de obtenção: 1999. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Sistema de informações hidrológicas. 2020. Disponível em: <<http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

Sistema de Registro e Estatística de Ocorrências do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná (Sysbm-Ccb). Versão 3.31 – Registros de incêndios ambientais de 2011 a 2016. 2019. Disponível em: <<http://www.bombeiroscascalvel.com.br/registroccb/>>. Acesso de 10 de março a 20 de agosto de 2019.

Soares RV, Batista AC, Tetto AF. Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo. 2 ed. revisada Curitiba, 255 p. 2017.

Soares RV. Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centroparanaense, Brasil. Ano de obtenção: 1972. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro Tropical de Ensino e Investigação, Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas OEA, Turrialba.

Souza, J. Comportamento e ajustes dos índices de perigo de incêndio – FMA e FMA+ para o município de Lages-SC. Ano de obtenção: 2014. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

Tetto AF, Batista AC, Nunes JRS, Soares RV. Subsídios à prevenção e combate a incêndios florestais com base no comportamento da precipitação pluviométrica na Floresta Nacional de Irati, Paraná. Ciência Florestal, v. 20, n. 1, p. 33-43, 2010a. <https://doi.org/10.5902/198050981759>

Tetto AF, Batista AC, Soares RV, Nunes JRS. Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. Scientia Forestalis, v. 38, n. 87, p. 409-417, 2010b.

Tetto AF, Batista AC, Soares RV. Ocorrência de incêndios florestais no estado do Paraná, no período de 2005 a 2010. Floresta, v. 42, n. 2, p. 391-398, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i2.22516>

Torres FTP, Ribeiro GA, Martins SV, Lima GS, Rocha GC, Silva E. Incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora: Minas Gerais. Ubá: Geographica Consultoria, Estudos e Projetos Ambientais, 108 p. 2008.

Vélez RM. Modelos para la predicción del comportamiento del fuego: introducción. In: Vélez RM. (Coord.). La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias. 2 ed. Madrid: McGRAW-HILL, p. 205-206. 2009.

Zucchi VP, Tetto AF. Eficiência do índice de perigo de incêndio “Fórmula de Monte Alegre” em Maringá-PR, nos anos de 2009 e 2010. Revista Flammae, v. 6, n. 17, p. 45-67, 2020. <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v6n17.p45-67>