

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ANDRÉ ORLANDI NARDOTTO JÚNIOR

DESEMPENHO DE ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIOS PARA MUNICÍPIOS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2022

ANDRÉ ORLANDI NARDOTTO JÚNIOR

DESEMPENHO DE ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIOS PARA MUNICÍPIOS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências Florestais
e da Madeira da Universidade
Federal do Espírito Santo, como
requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2022

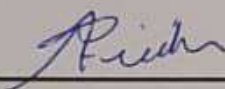
ANDRÉ ORLANDI NARDOTTO JÚNIOR

DESEMPENHO DE ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIOS PARA MUNICÍPIOS DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 17 de março de 2022

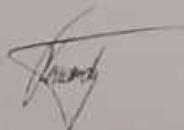
COMISSÃO EXAMINADORA



Nilton Cesar Fiedler

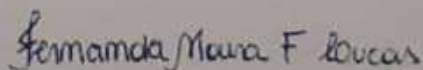
Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador



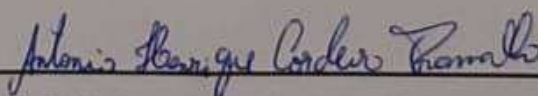
Gabriel Fernando Rezende

ICMBIO - ES



Fernanda Moura Fonseca Lucas

UFES



Antônio Henrique Cordeiro Ramalho

UFES

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida.

Em memória ao meu pai, André Orlandi Nardotto, por todo o amor, carinho e me ensinar o valor da educação.

À minha mãe, Cidélia Fazolo Nardotto, por todo amor, carinho, nunca me deixar desistir e me ensinar o valor da educação.

A minha namorada Juliana Zambom Piassi por todo seu amor, companheirismo e confiança.

Ao meu Primo Lomanto Zogaib Neves por me auxiliar durante o curso.

A minha Tia Maria Orlande Zogaib Neves por me ajudar durante o ensino médio e graduação.

A minha família por ajudar a tornar esse sonho possível.

Aos meus amigos Amanda Paixão Penna, Anna Clara Oliveira Rupf, Clarisse Scolforo de Agostin e Ronei Costa Silva pela parceria e ajuda ao longo dos anos.

Ao meu amigo João Santana dos Santos pelo companheirismo.

Aos meus colegas de turma que tornaram meu tempo em Alegre mais divertido.

Ao meu orientador Prof^o Dr^o Nilton Cesar Fiedler pelo incentivo e por compartilhar seus conhecimentos comigo.

Às Prof^{as} Dras Maristela de Oliveira Bauer e Juliana Di Giorgio Gianotti por me orientarem durante a monitoria de estatística.

Ao Prof^o Dr^o Alexandre Candido Xavier por me auxiliar na parte estatística.

Ao doutorando Antônio Henrique Cordeiro Ramalho por compartilhar parte de seus conhecimentos comigo.

A doutoranda Fenanda Moura Fonseca por ter aceitado participar da banca de avaliação.

Aos funcionários do NGI ICMBio São Mateus Flávia Maria Rossi de Moraes, Gabriel Fernando Rezende, Murilo Rezende Machado e Alberto Felipe Klotz por me acolher e ensinar durante o período de estágio.

Aos pesquisadores Alexandre França Tetto, Cleyton Alcarde Alvares, Marcos Pedro Ramos Rodríguez e Ronaldo Viana Soares por compartilharem seus trabalhos comigo.

RESUMO

Índices de perigo de incêndios são fórmulas matemáticas que levam em consideração variáveis meteorológicas e resultam em valores que podem ser interpretados como o grau de risco de perigo de incêndios em determinado local. Os problemas sociais, ambientais e econômicos causados pela presença do fogo justificam o uso de modelos matemáticos que indiquem a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, visto que esses modelos auxiliam na prevenção e no combate eficientes. Dessa forma, os índices de perigo são úteis tanto para evitar, como diminuir os impactos gerados por incêndios. Assim, o objetivo da presente pesquisa consistiu em avaliar qual índice de perigo de ocorrência de incêndios apresenta o melhor desempenho na determinação da possibilidade de ocorrência de incêndios para os municípios capixabas com estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para tal, foram coletados dados de temperatura, umidade, velocidade do vento, temperatura do ponto de orvalho e precipitação do INMET e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no período entre 2011 e 2020. A avaliação dos índices de Angstron, Telicyn, Nesterov Monte Alegre e Monte Alegre Alterada foram feitas por meio da análise da concentração de dias totais em cada classe de perigo, análise da acumulação de dias com focos de calor em cada grau de perigo, cálculo de *skill score* e porcentagem de sucesso. Foram avaliadas a acertabilidade de cada índice, ou seja, contabilizados os dias em que ocorreram a observação de focos de calor e a previsão de incêndio pelas fórmulas e dias sem observação de incêndios e sem previsão. A análise dos resultados permitiu concluir que nos municípios do Espírito Santo com estações automáticas, os índices de Telicyn e Angstron foram os mais assertivos. O índice de Angstron registrou resultados superiores em 11 municípios avaliados. Os valores de *skill score* variaram entre 0,05 em Presidente Kennedy e 0,28 em Linhares, enquanto a porcentagem de sucesso variou de 60,16% em Afonso Cláudio a 91,21% em Santa Teresa. Telicyn foi indicado apenas para os municípios de Alegre e Alfredo Chaves, onde o *skill score* foi de 0,05 em ambos os municípios, contudo, o maior valor foi 0,29, registrado em São Mateus, a porcentagem de sucesso variou de 48,46% em Alegre e 56,79% em Alfredo Chaves.

Palavras chaves: Proteção florestal; Prevenção de incêndios; Variáveis Meteorológicas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 O uso do fogo ao longo da história	12
2.2 Incêndios florestais	13
2.3 Fatores influentes e métodos de propagação	14
2.3.1 Fatores influentes	14
2.3.2 Métodos de propagação	14
2.4 Prevenção de incêndios florestais	15
2.5 Combate aos incêndios florestais	15
2.6 Índices de perigo de ocorrência de incêndios	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Área de estudo	18
3.2 Fontes de dados	20
3.2.3 Cálculo do skill score e porcentagem de sucesso	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Região Sul	30
4.2 Região Metropolitana	34
4.3 Região Serrana	36

4.4 Região Central	39
4.5 Região Norte	42
4.6 Extrapolação para as regiões	46
4.6.1 Região Sul	46
4.6.2 Região Metropolitana	46
4.6.3 Região Serrana	47
4.6.4 Região Central	47
4.6.5 Região Norte	48
5 CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Interpretação do grau de risco do Índice de Angstron.....	22
Tabela 2 - Escala de risco do Índice logarítmico de Telicyn.....	23
Tabela 3 - Restrições de aplicação do índice de Nesterov.....	24
Tabela 4 - Interpretação do grau de risco de ocorrência de incêndios do índice de Nesterov.....	25
Tabela 5 - Restrição da Fórmula de Monte Alegre.....	26
Tabela 6 - Interpretação do grau de risco de ocorrência de incêndios da Fórmula de Monte Alegre.....	26
Tabela 7 - Restrições ao somatório da Fórmula de Monte Alegre Alterada.....	27
Tabela 8 - Interpretação do grau de risco da Fórmula de Monte Alegre Alterada.....	27
Tabela 9 - Informações sobre cálculos do skill score.....	28
Tabela 10 - Análise de contingência.....	29
Tabela 11 - Valores de <i>skill score</i> (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices aplicados aos municípios do Sul do ES.....	33
Tabela 12 - Valores de <i>skill score</i> (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.....	36
Tabela 13 - Valores de <i>skill score</i> (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.....	39
Tabela 14 - Valores de <i>skill score</i> (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.....	42
Tabela 15 - Valores de <i>skill score</i> (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.....	45
Tabela 16 - Índice mais adequado para as regiões do ES.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triângulo e tetraedro do fogo.....	16
Figura 2 - Distribuição dos tipos climáticos para o ES.....	19
Figura 3 - Municípios com dados do INMET.....	21
Figura 4 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Sul do ES.....	32
Figura 5 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Metropolitana do ES.....	35
Figura 6 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, na região Serrana do ES.....	38
Figura 7 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Central do ES.....	41
Figura 8 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região do ES.....	44

1 INTRODUÇÃO

O fogo é um dos principais agentes de perturbação de ecossistemas, muito usado por seres humanos para transformar a terra para várias finalidades. O uso do fogo como meio de transformação do uso do solo ocorre principalmente em ecossistemas de regiões tropicais e subtropicais (VAN DER WERF *et al*, 2010).

Em 2020 foram queimados cerca de 312.140 km² no Brasil, dos quais 17.928 km² ocorreram em regiões ocupadas originalmente por Floresta Atlântica, como aponta o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021). Em 2019 a área queimada no Espírito Santo foi de mais de 151 km², o que representou 0,33% do estado. A área queimada acumulada entre 2000 e 2019 no estado foi de 1.158 km² (MAPBIOMAS, 2020). Diferentemente do que ocorre em alguns países desenvolvidos, no Brasil a principal fonte de contribuição de gases do efeito estufa são os incêndios e não a atividade industrial (BARCELLOS *et al*, 2019).

A exposição às partículas e aerossóis provenientes da ação do fogo afeta diretamente a saúde humana, aumentando a incidência das doenças respiratórias e cardiovasculares, prejudicando principalmente crianças, gestantes, idosos e pessoas com histórico de doenças na família (BARCELLOS *et al*, 2019). Barcellos *et al*. (2019) apontam que crianças que habitam locais próximos a focos de calor tem 36% a mais de chance de serem internadas por doenças respiratórias.

Os gastos com incêndios vão muito além da identificação, combate e recuperação de áreas afetadas. Nos estados que compõem o arco do desmatamento (Pará, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amazonas), o sistema público de saúde do Brasil gastou 774 milhões de reais com internações de baixa complexidade por doenças respiratórias ligadas à poluição do ar entre os anos de 2010 e 2020. Já os gastos com internações de alta complexidade nas Unidades de Terapia Intensiva (UTI) foram superiores a 186 milhões de reais, ou seja, entre 2010 e 2020 o SUS gastou quase 1 bilhão de reais com hospitalizações envolvendo poluição atmosférica. Como a principal fonte de poluição atmosférica no Norte do país é proveniente de incêndios florestais e queimadas, parte significativa das internações poderia ser evitada com medidas para prevenir e controlar a ocorrência do fogo (HACON *et al*, 2021).

A prevenção de incêndios se inicia conhecendo o grau de perigo de ocorrência, permitindo o planejamento correto e uma melhor alocação de recursos, tornando o processo de prevenção, detecção e combate mais eficiente (FIEDLER; SANT'ANNA, 2020; BORGES *et al*, 2011). Os índices de perigo de incêndios são números que indicam a possibilidade de ocorrência de incêndios, assim como a facilidade de propagação baseada nas condições atmosféricas do dia ou de períodos (SOARES, 1972). No Brasil, entre os índices mais conhecidos estão: índice de Angstron, índice logarítmico de Telicyn, índice de Nesterov e as fórmulas de Monte Alegre e Monte Alegre Alterada (FIEDLER; SANT'ANNA, 2020).

Segundo Borges *et al*. (2012), o uso de índices confiáveis é essencial para a determinação de zonas de risco, instalação de torres de observação e no conhecimento do grau de risco pelo público que frequenta a área, sendo essencial para a realização de programas de educação e proteção ambiental. Dado as informações apresentadas, a verificação do índice de ocorrência de incêndios mais indicado permite o melhor planejamento e garante medidas de prevenção mais eficientes, evitando a alocação ineficiente de recursos e minimizando as perdas patrimoniais.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a acertabilidade dos índices de perigo de ocorrência de incêndios para os 13 municípios do estado do Espírito Santo com estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar qual índice tem maior alocação de dias nas classes de perigo (média, alto e muito alta, quando presentes), levando em conta os dias totais e os dias com ocorrência de focos de calor;
- Verificar qual índice tem maior *skill score* e porcentagem de sucesso em cada cidade proposta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O uso do fogo ao longo da história

Durante a história do gênero *Homo*, o fogo se mostrou muito versátil, sendo útil em diferentes situações. A presença do fogo representava uma ferramenta que ampliava as chances de sobrevivência. O uso do fogo não é algo recente para os hominídeos, acredita-se que essa atividade já ocorria por volta de 800.000 anos atrás. No entanto, o uso sistemático no cozimento de alimentos é mais recente, ocorrendo apenas há 100.000 anos (GIBBONS, 2007). Nas Américas, um dos registros mais antigos de fogueiras se encontra no Parque Nacional da Serra da Capivara (PI), com os restos de carvão datando de mais de 50.000 anos (G1, 2013).

Antes da domesticação do fogo, quando ocorria a queda de raios, os primeiros hominídeos coletavam as chamas produzidas nos incêndios resultantes, ou as brasas e levavam até seus assentamentos, dessa forma, as fogueiras produzidas a partir do material coletado deviam ser constantemente alimentadas e quando apagadas, era necessário esperar outra queda de raio (SANT'ANNA *et al*, 2020). A domesticação do fogo garantiu a proteção contra predadores e assegurou acesso facilitado a luz, calor e permitiu o preparo e consumo de uma maior variedade de alimentos. Dessa forma, o fogo forneceu os meios necessários para a conquista de novos ambientes (ALPERSON-AFIL; GOREN-INBAR, 2006). O processamento térmico dos alimentos possui uma série de vantagens, quando comparado com métodos não-térmicos e o consumo in natura. O cozimento de vegetais garante benefícios como o aumento no valor líquido de energia disponível, melhor palatabilidade, gelatinização do amido, aumentando sua digestibilidade, eliminação de patógenos e a desnaturação de proteínas (CARMODY; WRANGHAN, 2009).

Além do preparo de alimentos, o fogo era utilizado na agricultura. O uso do fogo para o manejo da vegetação não é recente, desde a Pré-história os ameríndios usavam técnicas de queimada para a renovação de pastagens e preparo de áreas para produção de alimentos (ALVES *et al*, 2020). No Brasil, Alves *et al*. (2020) citam os Kayapós, que faziam uso das queimadas para estimular o crescimento e produção de algumas frutíferas. A partir do século XI, a instalação da monocultura de cana-de-açúcar no Brasil pelos colonizadores teve como consequência a prática

rotineira das queimadas. O fogo era usado na limpeza inicial para retirada da vegetação existente e durante o processo de despalha da cana, facilitando a colheita (DE JESUS *et al*, 2020). Atualmente, a queima no preparo e limpeza da terra ainda é usada por fazendeiros, pequenos criadores de gado, agricultores familiares, comunidades assentadas e indígenas (ALVES *et al*, 2020).

2.2 Incêndios florestais

Incêndios florestais podem ser definidos como qualquer fogo descontrolado que incide na vegetação, sendo sua origem associada a presença humana ou causas naturais (FIEDLER *et al*, 2020a). No geral, incêndios florestais causam severos impactos em diversas regiões do planeta, ocorrendo principalmente em estações secas ou em anos mais secos (LATUF; RIOS; PEREIRA, 2022). Além do clima, o fogo tem como uma das principais causas os fatores antropogênicos (MEDEIROS, 2002).

De Jesus *et al*. (2020) avaliaram a ocorrência de focos de calor nos biomas brasileiros e identificaram que os biomas Cerrado e Amazônia foram os que apresentaram maior quantidade, sendo o Cerrado o bioma com maior área queimada. Para o bioma Mata Atlântica, os autores identificaram que o acréscimo no número de focos de calor ocorre entre os meses de junho a dezembro. O bioma foi o terceiro com mais locais com queima de vegetação no Brasil.

Com relação as causas de ocorrência de incêndios, Latuf, Rios e Pereira (2022) relacionam a sazonalidade do clima e a ação antrópica em áreas agrícolas. Soares e Santos (2002) verificaram que a queima para limpeza de pastos e preparo da terra foi responsável por 74,1% da área queimada no país no período de 1994 a 1997. Isso ocorre devido à limpeza geralmente ocorrer no inverno, época de vegetação seca e condições meteorológicas favoráveis ao fogo.

Ocorrências de incêndios florestais são responsáveis por danos econômicos, físicos e bióticos. Guimarães *et al*. (2014) verificaram que os principais impactos gerados por incêndios são a erosão, o aquecimento do solo, a redução da matéria orgânica, o aumento da acidez do solo, a liberação de carbono, a modificação do microclima, a perda da qualidade da água, a morte de animais, os impactos em culturas agrícolas, a redução da atividade microbiana, a destruição de áreas recreativas, os impactos visuais e os transtornos às populações locais. Além dos

impactos ambientais, a queima de biomassa causa severos problemas respiratórios em crianças, idosos e pessoas com comorbidades (CARMO; HACON, 2013).

2.3 Fatores influentes e métodos de propagação

2.3.1 Fatores influentes

A ocorrência e propagação do fogo em determinada área depende de alguns fatores ligados ao ambiente, atuando de várias formas no processo de combustão, acarretando em diferentes formas de propagação (BATISTA, 2000). Segundo Sant'Anna, Fiedler e Ramalho (2020), os principais fatores meteorológicos que afetam o processo de combustão e propagação do fogo são: temperatura, vento, umidade do ar, ponto de orvalho e precipitação. Torres *et al.* (2011) identificaram a correlação entre umidade do ar e a ocorrência de incêndios florestais em Juiz de Fora. Os autores ainda identificaram os incêndios ocorrerem principalmente em dias em que a evaporação foi maior que a precipitação e que é indicado a incorporação de mais de uma variável meteorológica para a adequada previsão de incêndios.

Ribeiro *et al.* (2007) consideram que a declividade, altimetria, orientação da encosta, estradas e uso do solo são fatores físico-geográficos que afetam o processo de combustão. As características do material combustível que mais influenciam a propagação dos incêndios são: tipo, quantidade, arranjo (continuidade, compactação e distribuição vertical) e umidade (SANT'ANNA; FIEDLER; RAMALHO, 2020). Segundo os autores, o tipo de combustível se refere a localização, ou seja, combustíveis aéreos ou superficiais. A quantidade é referente ao acúmulo de material, geralmente medido em kg/ha ou ton/ha. A umidade do combustível está relacionada com a porcentagem de água que o material tem armazenado.

2.3.2 Métodos de propagação

O entendimento das formas de transferência de calor é importante para o combate aos incêndios florestais, visto que o fogo tende a consumir combustíveis que estão próximos (SANT'ANNA; FIEDLER; RAMALHO, 2020). Os principais

métodos de transferência de calor são: radiação, condução, convecção e transporte de massa (BARROS; ALMEIDA, 2008).

A radiação é o principal mecanismo de transferência de calor dos corpos em altas temperaturas. Consiste em uma onda eletromagnética que se espalha mesmo no vácuo (BARROS; ALMEIDA, 2008). Na condução a energia é transportada por colisões dos constituintes do material, ou seja, ocorre o “transporte” de energia de áreas quentes para áreas frias por contato direto. No processo de convecção a energia é transportada juntamente com o meio material (no caso de incêndios ocorre o movimento ascendente de massas de ar quente), por conta da diferença de temperatura (BARROS; ALMEIDA, 2008). O transporte de massa consiste na transferência de energia por meio do rolamento de materiais incandescentes de um local para outro. Essa forma de transferência de calor é comum em áreas inclinadas (SANT’ANNA; FIEDLER; RAMALHO, 2020).

2.4 Prevenção de incêndios florestais

A prevenção e o planejamento têm como principal objetivo a implantação de ações para redução dos riscos de propagação dos incêndios (RIBEIRO, 2004). Assim, a atuação na prevenção é para que não ocorra o fogo. Segundo o autor, a prevenção do fogo será mais eficiente se ocorrerem investimentos nas áreas de educação ambiental, medidas para evitar a propagação do fogo, vigilância, treinamento de equipes, compra de equipamentos, banco de dados de ocorrência de fogo e formação de parcerias entre empresas (RIBEIRO, 2004). Farias *et al.* (2021) afirmam que o uso de ferramentas de geoprocessamento e de dados espaciais auxiliam na prevenção de incêndios. O avanço tecnológico permitiu a adoção de novas medidas de prevenção e combate de incêndios florestais, nesse sentido, pode-se citar o uso do sensoriamento remoto (LATUF; RIOS; PEREIRA, 2022).

2.5 Combate aos incêndios florestais

A combustão é uma reação química entre o oxigênio e uma substância (combustível). Na reação é liberada energia, água e carbono (LOURENÇO *et al.*, 2006). O início da combustão pode ser ilustrada como um triângulo, onde cada face

representa um elemento, sendo eles o oxigênio, energia e o combustível, contudo, em uma reação autossustentada surge o efeito da reação em cadeia, a associação deste quarto elemento com os três anteriores origina o tetraedro do fogo, como visto na figura 1 (LOURENÇO *et al*, 2006). Os métodos de combate têm como objetivo extinguir um ou mais desses componentes.



Figura 1 - Triângulo e tetraedro do fogo.

Fonte: Lourenço *et al*. (2006).

O combate a incêndios florestais é uma atividade de grande importância, visto que se evita maiores perdas de diversidade biológica, econômicas, patrimoniais e assegura melhor qualidade de vida (FREHAUF; SILVA; LOMBARDO, 2022). O combate de incêndios é uma atividade de alto risco, devendo ser realizada por pessoas treinadas. No geral, as operações de combate seguem a seguinte sequência: reconhecimento, salvamentos, estabelecimento de meios de ação, ataque e proteção, rescaldo e vigilância (CASTRO *et al*, 2003).

A escolha do método de combate deve levar em consideração características da vegetação, topografia, clima, disponibilidade de equipamentos e características do fogo, como forma, velocidade e intensidade (FIEDLER *et al*, 2020b). O combate pode ser feito de forma direta, indireta e combinado. O combate direto consiste no ataque ofensivo as chamas, se possível na cabeça do incêndio, impedindo seu avanço. Quando o ataque a cabeça não é possível, deve-se realizar o ataque nos

flancos, empurrando as chamas para o local mais favorável (LOURENÇO *et al*, 2006). O método indireto consiste em parar a propagação das chamas. Para isso recorre-se a áreas previamente tratadas para diminuir a propagação dos incêndios. Essas áreas podem ser anteriores ao fogo (aceiros, estradas e caminhos) ou construídas durante o incêndio por meio da retirada do combustível em uma técnica conhecida como linha de defesa. Posteriormente é colocado fogo no sentido contrário ao deslocamento da frente de fogo (LOURENÇO *et al*, 2006). Os autores ainda citam o combate combinado ou paralelo, ou seja, a aplicação simultânea dos dois métodos anteriores. O combate combinado geralmente é feito com máquinas para abrir faixas de contenção e em seguida, quando as chamas reduzem de intensidade, é realizado o combate direto.

Segundo Fiedler *et al*. (2020b), entre as ferramentas mais comuns no combate estão: abafadores, pinga-fogo, bombas costais, sopradores, enxadas, pás e foices.

2.6 Índices de perigo de ocorrência de incêndios

Índices de perigo de ocorrência são modelos matemáticos desenvolvidos para estimar a probabilidade de ocorrer incêndios com base nas condições meteorológicas de um dia ou de sequência de dias (FIEDLER *et al*, 2020).

A capacidade de estimar a possibilidade de incêndios, usando dados meteorológicos, tornam os índices de ocorrência importantes para a avaliação do risco potencial de incêndios a nível regional (TORRES *et al*, 2020).

A estimativa quantitativa do risco de incêndio é feita pela integração de um conjunto de variáveis (vento, umidade, precipitação) ligadas aos principais agentes de propagação e iniciação de incêndios (TORRES *et al*, 2020).

O uso do índice de ocorrência de incêndio correto é de fundamental importância para a prevenção e rápido combate de incêndios, reduzindo perdas financeiras, ambientais e sociais (BORGES *et al*, 2011).

Os primeiros registros do uso de índices de ocorrência de incêndios no Brasil datam de 1963. Após um grande incêndio no Estado do Paraná, o Ministério da Agricultura divulgou e passou a utilizar as fórmulas de Angstron e Nesterov como as mais viáveis para o país (SOARES, 1972). Atualmente, entre os índices estudados

e difundidos no Brasil estão Angstron, índice Logarítmico de Telicyn, Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada.

A fórmula de Angstron foi desenvolvido na Suécia, Telicyn e Nesterov foram desenvolvidos com base em dados de ocorrência de incêndios da União Soviética e as Fórmulas de Monte Alegre (FMA) e Monte Alegre Alterada (FMA⁺) foram criadas com base em dados de ocorrência do Brasil.

O índice de Angstron é não acumulativo, ou seja, é calculado apenas com base nos dados diários, enquanto Telicyn, Nesterov, Monte Alegre e Monte Alegre Alterada são acumulativos, isto é, os valores vão se acumulando até que ocorra uma situação de restrição (FIEDLER *et al*, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estado do Espírito Santo (ES) possui população estimada de 4,1 milhões de habitantes, divididos em 78 municípios, que somados abrangem 46.074 km² (IBGE, 2021).

O ES tem temperatura média de 23,06 °C, com valores variando de 16,80 °C a 27,40 °C, sendo o valor mínimo encontrado no mês de julho no município de Santa Teresa e o valor máximo no mês de fevereiro no município de Vitória (INMET, 2021). A precipitação média do estado é de 1299,6 mm/ano, o mês mais seco é agosto, na cidade de Marilândia, com precipitação mensal de 22,6 mm, e o mês mais chuvoso é dezembro, com 277,6 mm de chuva em Venda Nova do Imigrante (INMET, 2021). O Espírito Santo possui 8 tipos climáticos, segundo a classificação de Koppên, são eles: Aw, Cfa, Am, Cfb, Cwb, Af, Cwa e Cwc (ALVARES *et al*, 2013). Silva, Chaves e Lima (2009), definem os tipos climáticos citados como:

Aw: Clima tropical, com inverno nitidamente seco;

Cfa: Clima temperado com verão quente e sem estação seca;

Am: Clima de monção;

Cfb: Clima temperado com verão temperado e sem estação seca;

Cwb: Clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado;

Af: Clima subtropical úmido, sem estação seca;

Cwa: Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente;

Cwc: Clima temperado úmido com inverno seco e verão curto e fresco.

Na Figura 2 é possível observar a distribuição dos tipos climáticos no estado.

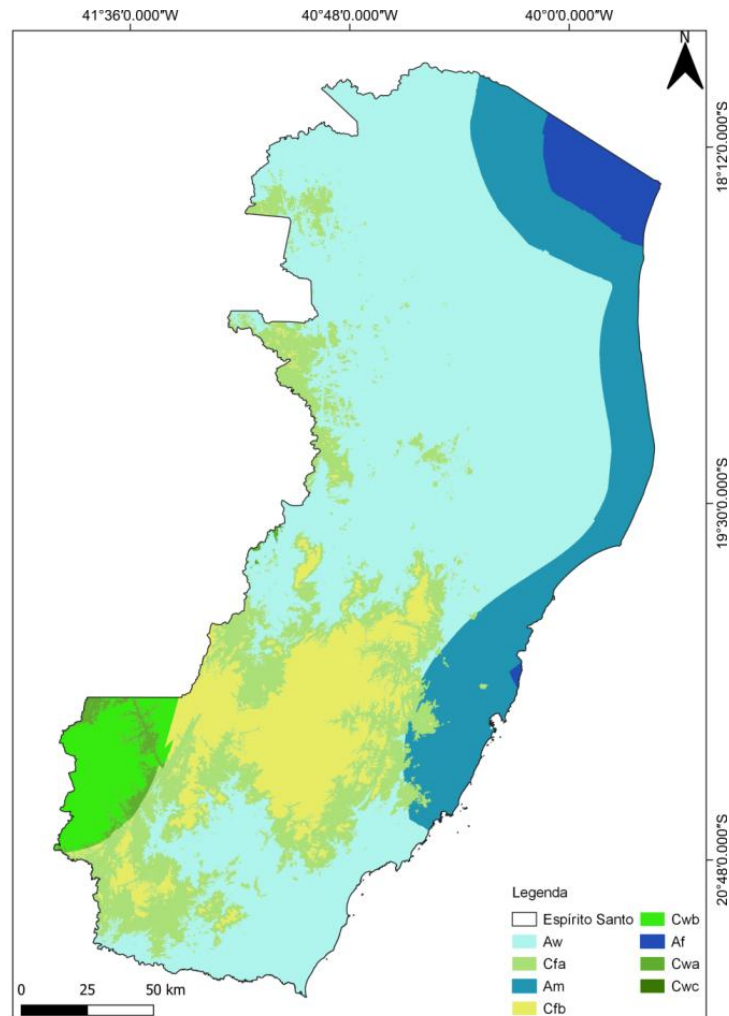


Figura 2 - Distribuição dos tipos climáticos para o ES.

Fonte: Alvares *et al.* (2013).

A vegetação do estado é dividida em floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semidecidual, refúgio ecológico (formação alto-montana), formações pioneiras (restinga e manguezais) e pequenos enclaves de savanas (GARBIN *et al.*, 2017).

No que se refere a área agrícola do Espírito Santo, em 2020 o estado registrou a produção de 2.579 mil toneladas de cana-de-açúcar, 561,9 mil toneladas de café conilon, 416,2 mil ton de banana, 225,7 mil ton de café arábica e 67,6 mil ton de pimenta-do-reino (INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2021). A área

destinada a silvicultura no estado em 2020 foi de aproximadamente 271.354 hectares, sendo 269.106 ha destinados à produção de eucalipto (IBGE, 2021).

Devido a disponibilidade limitada de estações meteorológicas automáticas, o presente trabalho avaliou a eficiência dos índices de risco de ocorrência de incêndios para os municípios de Afonso Cláudio, Alegre, Alfredo Chaves, Ecoporanga, Linhares, Marilândia, Nova Venécia, Presidente Kennedy, Santa Teresa, São Mateus, Venda Nova do Imigrante, Vila Velha e Vitória.

3.2 Fontes de dados

Os dados meteorológicos foram obtidos de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As informações são referentes ao período entre 2011 e 2020. Os municípios de Alegre, Afonso Cláudio, Alfredo Chaves, Nova Venécia, Linhares, Presidente Kennedy, Santa Teresa, São Mateus e Vitória dispõem de registros a partir de 2011, enquanto Ecoporanga, Marilândia, Venda Nova e Vila Velha tiveram estações meteorológicas automáticas instaladas a partir de 2017.

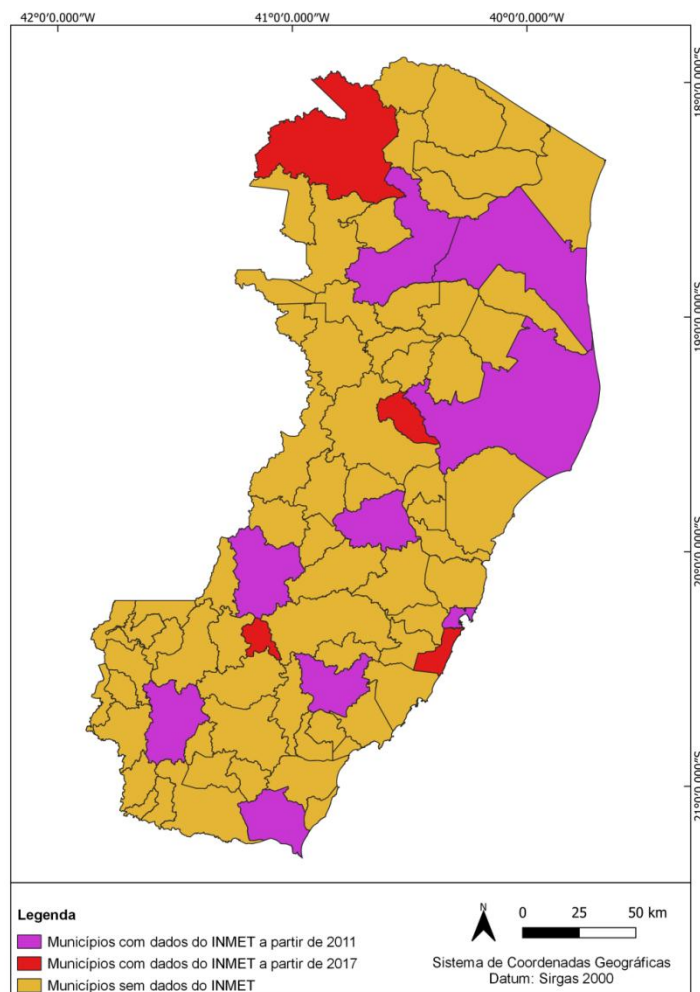


Figura 3 - Municípios com dados do INMET.

Fonte: O autor (2022).

Os focos de calor no período de 2011 a 2020 foram obtidos por meio dos satélites Terra Manhã, Terra Tarde, Aqua Manhã, GOES-13, GOES-16, NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18, NOAA-19, NOAA-20, MSG-03, METOP e NPP-375, disponíveis na plataforma BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A escolha dos satélites e o uso de dados meteorológicos fundamentou-se na metodologia de Machado, Silva e Biudes (2014).

A análise preliminar das estações automáticas indicou incoerências como: precipitação diária negativa, temperatura do ar as 13 horas fora da faixa média e velocidade do vento negativa. Desconsiderou-se dias com informações incoerentes.

3.2.2 Índices de perigo de ocorrência de incêndios

Os cálculos dos índices de Angstron, Telicyn, Nesterov, Monte Alegre e Monte Alegre Alterado ocorreram por meio dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura do ponto de orvalho e soma da precipitação diária. A medição dos valores de temperatura, velocidade do vento e umidade foram realizadas as 13 horas de cada dia avaliado.

3.2.2.1 Índice de Angstron

A determinação do grau de risco é feita usando dados da umidade relativa do ar e temperatura do ar, ambos coletados as 13 horas (SOARES, 1972). O índice de Angstron é expresso pela Equação 1.

$$B = 5 \times H - 0,1 \times (T - 27) \quad (1)$$

Onde:

B: Índice de Angstron;

H: Umidade relativa do ar (variando de 0 - 1) às 13 horas, em %;

T: temperatura do ar (°C) às 13 horas.

Analisando a fórmula é possível verificar que sempre que ocorrerem temperaturas inferiores a 27 °C, o valor resultante aumentará devido ao somatório dos dois fatores, ou seja, o risco de incêndio é maior para temperaturas menores que 27°C (SOARES, 1972). O índice é não acumulativo. Apenas as condições de temperatura do ar e a umidade relativa do dia afetam o valor de “B”. Os valores anteriores do índice não interferem (OLIVEIRA *et al*, 2016). O grau de risco é definido pela Tabela 1.

Tabela 1 - Interpretação do grau de risco do Índice de Angstron.

Valor do índice de Angstron (B)	Grau de risco
< 2,5	Alto risco de incêndio
≥ 2,5	Baixo risco de incêndio

Fonte: Soares (1972), Oliveira (2016), Fiedler e Sant’Anna (2020).

3.2.2.2 Índice logarítmico de Telicyn

A fórmula é composta basicamente por duas variáveis, a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, ambas medidas as 13 horas (ZACCARDI *et al*, 2020; TELICYN, 1970). A Equação 2 expressa o índice de Telicyn (ZACCARDI *et al*, 2020).

$$I = \sum_{i=1}^n \log (T - r) \quad (2)$$

Onde:

I: índice logarítmico de Telicyn;

T: Temperatura do ar, em °C, medida as 13 horas;

r: Temperatura do ponto de orvalho, medida as 13 horas, em °C;

n: Número de dias sem chuva.

Como é observado na fórmula, o índice é acumulativo. Sua aplicação segue a seguinte restrição: sempre que ocorrer uma chuva de 2,5 mm ou superior, deve-se abandonar o somatório e recomeçar o cálculo. Ou seja, em dias de chuva o índice é igual a zero (WHITE; RIBEIRO, 2010). A interpretação da fórmula deve ser feita conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Escala de risco do Índice logarítmico de Telicyn.

Valor de I	Grau de risco
≤ 2,0	Nenhum
2,1 a 3,5	Pequeno
3,6 a 5,0	Médio
> 5,0	Alto

Fonte: White e Ribeiro (2010).

3.2.2.3 Índice de Nesterov

O índice pertence à classe dos acumulativos. Suas variáveis são: temperatura do ar e o déficit de saturação de vapor, ambos medidos as 13 horas. O índice de Nesterov é dado pela Equação 3.

$$G = \sum_{i=1}^n (t \times d) \quad (3)$$

Onde:

d: Déficit de saturação do ar, medido as 13 horas, valor em milibares;

t: temperatura do ar em °C, medido as 13 horas;

n: Número de dias sem chuvas menor que 10 mm.

Segundo Torres *et al.* (2017), O déficit de saturação do ar é a diferença entre a pressão máxima de vapor de água e a pressão real de vapor de água, podendo ser calculado conforme a Equação 4.

$$d = E \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (4)$$

Onde:

d: Déficit de saturação do ar, em milibares;

E: Pressão máxima de vapor d'água, medido as 13 horas, valor em milibares;

H: Umidade relativa do ar, em %.

A aplicação da fórmula possui algumas restrições de acordo com o volume de chuva, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Restrições de aplicação do índice de Nesterov.

Chuva (mm)	Modificações
≤ 2,0	Sem modificações
2,1 a 5,0	Reduzir 25% do valor de G calculado na data anterior e somar o valor de d x t do dia

5,1 a 8,0	Reduzir 50% do valor de G calculado no dia anterior e somar o valor de d x t do dia
8,1 a 10,0	Abandonar o somatório do dia anterior e começar um novo cálculo, ou seja, G = d x t do dia
> 10	G = 0, recomeçar o cálculo no dia seguinte ou quando a chuva parar

Fonte: Torres *et al.* (2017).

A interpretação da fórmula é feita conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Interpretação do grau de risco de ocorrência de incêndios do índice de Nesterov.

Valor G	Grau de risco
<300	Nenhum
301 a 500	Pequeno
501 a 1000	Médio
1001 a 4000	Alto
> 4000	Muito alto

Fonte: Torres *et al.* (2017); Nesterov (1964).

3.2.2.4 Fórmula de Monte Alegre (FMA)

A Fórmula de Monte Alegre é acumulativa porque o grau de risco é determinado pelo acúmulo de dias com características favoráveis a ocorrência de incêndios (SOARES, 1972). A Equação 5 apresenta a Fórmula de Monte Alegre.

$$FMA = \sum \frac{100}{H} \quad (5)$$

Onde:

FMA: Fórmula de Monte Alegre;

H: umidade relativa do ar as 13 horas, valores em % (variando de 0 – 100).

A aplicação da fórmula possui algumas restrições ligadas a precipitação diária, como é observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Restrição da Fórmula de Monte Alegre.

Precipitação (mm)	Modificação no cálculo
Até 2,4	Sem modificações
2,5 a 4,9	Abater 30% do índice acumulado e somar com o índice do dia
5,0 a 9,9	Abater 60% do índice acumulado e somar com o índice do dia
10 a 12,9	Abater 80% do índice acumulado e somar com o índice do dia
Mais de 12,9	Abandonar a soma no dia anterior e começar novamente no dia seguinte

Fonte: Soares (1972).

Após a aplicação da fórmula e realização do cálculo é feita a interpretação do grau de risco de incêndio para determinado dia. Os valores encontrados determinam o grau de risco de incêndios florestais (Tabela 6).

Tabela 6 - Interpretação do grau de risco de ocorrência de incêndios da Fórmula de Monte Alegre.

Valores obtidos na fórmula de FMA	Risco de ocorrência de incêndios
< 1,0	Nulo
1,0 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
> 20	Muito alto

Fonte: Soares (1972).

3.2.2.5 Fórmula de Monte Alegre Alterada

A fórmula de Monte Alegre alterada é expressa pela Equação 6.

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n (100/H_i) e^{0,04v} \quad (6)$$

Onde:

FMA⁺: Fórmula de Monte Alegre Alterada;

H: umidade relativa do ar (%), medida as 13 horas;

e: base dos logaritmos naturais;

v: velocidade do vento (m/s), medida as 13 horas;

n: número de dias sem chuva igual ou superior a 13 mm;

A FMA⁺ possui algumas restrições baseadas na precipitação diária. Na Tabela 7 é possível verificar as restrições de somatório.

Tabela 7- Restrições ao somatório da Fórmula de Monte Alegre Alterada.

Precipitação (mm)	Modificação no cálculo
Até 2,4	Sem modificações.
2,5 a 4,9	Abater 30% do índice acumulado e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% do índice acumulado e somar (100/H) do dia.
10 a 12,9	Abater 80% do índice acumulado e somar (100/H) do dia.
Mais de 12,9	Interromper o cálculo (FMA = 0) e recomeçar o somatório no dia seguinte.

Fonte: Nunes; Soares; Batista (2006) e Fiedler e Sant'Anna (2020).

Após a realização dos cálculos é feita a interpretação da fórmula, seguindo a escala apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Interpretação do grau de risco da Fórmula de Monte Alegre Alterada.

Valor de FMA ⁺	Grau de risco
≤ 3,0	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeno
8,1 a 14,0	Médio
14,1 a 24,0	Alto
> 24,0	Muito alto

Fonte: Nunes; Soares; Batista (2006).

3.2.3 Cálculo do skill score e porcentagem de sucesso

Usou-se o *software* Microsoft Office 2013[®] para a realização de todos os cálculos. O *skill score* (SS) é definido como a razão da diferença entre os acertos na previsão (G) e o número esperado de acertos (H) e a diferença do número total de dias (N) e número de dias com previsão de acerto (NUNES; SOARES; BATISTA, 2006). A avaliação do modelo seguiu a metodologia proposta por Nunes *et al.* (2010), onde é avaliado o *skill score* e a porcentagem de sucesso (PS) de cada índice, identificando a equação mais adequada para cada município. Os autores também estabelecem que o resultado de um índice é satisfatório quando o número de dias previstos em cada classe é inversamente proporcional a classe de risco. Ou seja, quanto maior a classe de risco, menor o número de dias previsto.

O cálculo do *skill score* é feito por meio de tabelas de contingência, onde são comparadas a previsão de ocorrência de incêndios com a observação de incêndios. Para o uso da tabela de contingência quantificou-se o número de dias com previsão de ocorrência e real ocorrência, previsão e não observação de fogo, observação e não previsão e dias sem observação e nem previsão. Considerou-se como indicativo de ocorrência os valores pertencentes às classes moderado/médio, alto e muito alto, conforme a metodologia proposta por Nunes, Soares e Batista (2006). Na Tabela 9 é possível observar a distribuição dos valores de previsão e observação dos eventos.

Tabela 9 - Informações sobre cálculos do *skill score*.

Previsão	Observação		Total previsto
	Fogo	Não fogo	
Fogo	a	b	$N_2 = a+b$
Não fogo	c	d	$N_4 = c+d$
Total observado	$N_1 = a+c$	$N_3 = b+d$	N

Fonte: Sampaio (1999); Borges *et al.* (2011).

Onde:

a: Previsão de sucesso. Previsão de fogo e ocorrência de fogo;

b: Previsão de insucesso. Previsão de fogo e não ocorrência de fogo;

c: Previsão de insucesso. Previsão de não fogo e ocorrência de fogo;

d: Previsão de sucesso. Previsão de não fogo e não ocorrência de fogo.

N_1 : Dias com previsão e observação de incêndios + dias sem previsão de incêndios, mas com observação;

N_2 : Dias com ocorrência e previsão de incêndios + dias com previsão de incêndios, mas sem observação;

N_3 : Dias com previsão de incêndios, mas sem observação + dias sem previsão de incêndios e sem observação;

N_4 : Dias sem previsão de incêndios, mas com observação + dias sem previsão de incêndios e sem observação;

N : Total de dias.

Após a montagem da tabela de contingência foi feita a análise da mesma. Isso ocorreu por meio da tabela de análise de contingência, onde os valores “a” e “c” são divididos pelo total de dias com observação do evento, e os valores “b” e “d” são divididos pelo somatório de dias sem observação do evento. A Tabela 10 ilustra a análise de contingência.

Tabela 10 - Análise de contingência.

Evento	Incêndio		Total previsto
	Observado	Não observado	
Previsto	$a/(a+c)$	$b/(d+b)$	-
Não previsto	$c/(a+c)$	$d/(b+d)$	-
Total observado	1	1	2

Fonte: Borges *et al.* (2011).

Por fim, é calculado o número de acertos (G), número esperado de acertos (H), *skill score* (SS) e porcentagem de sucesso (PS), conforme as Equações 7, 8, 9 e 10 (BORGES *et al.*, 2011).

$$G = a + d \quad (7)$$

$$H = N \times (1 - p) \times (1 - q) + N \times p \times q \quad (8)$$

$$SS = \frac{G - H}{N - H} \quad (9)$$

$$PS = \frac{G}{N} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

$$p = \frac{N_1}{N}$$

$$q = \frac{N_2}{N}$$

Para melhor compreensão dos resultados e distribuição dos índices, o resultado e discussão será apresentado seguindo a divisão regional do Espírito Santo, para isso considerou-se as regiões Sul, Metropolitana, Serrana, Central e Norte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Região Sul

A região Sul do estado do Espírito Santo possui 3 municípios com informações do INMET, são eles: Alegre, Alfredo Chaves e Presidente Kennedy.

Em todas as cidades avaliadas na região, apenas Alfredo Chaves apresentou índices onde a maior parte dos dias avaliados se encontravam nas classes de menor risco.

No município de Alegre, a Fórmula de Monte Alegre apresentou a maior tendência de concentração, com 83,55% dos dias nas classes de risco médio, alto e muito alto, em seguida vieram os índices de Nesterov (82,99%), Fórmula de Monte Alegre Alterada (70,48%), Angstron (65,11%) e Telicyn (54,33%). Na cidade de Alfredo Chaves, a Fórmula de Monte Alegre foi o índice com maior taxa de concentração, 78,31% dos dias avaliados se concentraram nas classes de risco média, alta e muito alta. Os índices de Nesterov e Monte Alegre Alterada apresentaram valores de 77,28% e 61,04%, respectivamente. Angstron e Telicyn

foram os únicos índices no município que não concentraram os valores nas classes de risco. Os índices apresentaram valores de 48,69% e 45,27%, respectivamente. Na cidade de Presidente Kennedy, a Fórmula de Monte Alegre gerou valores que indicaram que 83,34% dos dias se encontravam nas classes de risco de incêndios, ou seja, médio, alto e muito alto. Em seguida vieram os índices de Nesterov (82,14%), Fórmula de Monte Alegre Alterada (68,15%), Angstron (60,93%) e Telicyn (50,48%).

Em todas as cidades da região, o índice com maior concentração de dias nas classes consideradas de risco foi a Fórmula de Monte Alegre. Segundo Nunes *et al.* (2010), a distribuição desequilibrada para Fórmula de Monte Alegre é uma característica indesejada, visto que não segue uma tendência decrescente, entre a classe nulo e muito alto. Em uma análise de Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada para o distrito florestal de Monte Alegre, Nunes *et al.* (2010) identificou o desbalanceamento da Fórmula de Monte Alegre. Os autores atribuíram esse fato ao desajuste do índice para a região. Assim como no presente trabalho, Fórmula de Monte Alegre Alterada apresentou resultados superiores à Monte Alegre. A fórmula mais balanceada nos três municípios foi Telicyn, com resultados entre 45,27% e 54,33%, contudo, o índice também não apresentou resultados decrescentes.

O desempenho dos índices foi analisado por meio da quantificação do número de dias em que foram registrados focos de calor nos limites das cidades avaliadas, segundo a classe de risco. No município de Alegre, os índices com maior concentração de dias com focos de calor nas classes de riscos mais elevadas foram, respectivamente, Angstron (97,60%), Nesterov (96,80%), Monte Alegre (96%), Monte Alegre Alterada (95,20%) e Telicyn (86,40%). Em Alfredo Chaves, Nesterov e Monte Alegre tiveram a maior concentração (98,15%), seguidos por Monte Alegre Alterada (89,82%), Angstron (85,19%) e Telicyn (82,41%). Em presidente Kennedy, assim como em Alfredo Chaves, os índices de Nesterov e Monte Alegre apresentaram maior concentração de dias com focos de calor nas classes de risco mais altas. Ambos os índices registraram o valor de 96,67%. Em seguida vieram os índices de Monte Alegre Alterada (94,45%), Telicyn (78,89%) e Angstron (68,89%). Na figura 3 é possível observar a distribuição das classes de risco de cada índice para os municípios.

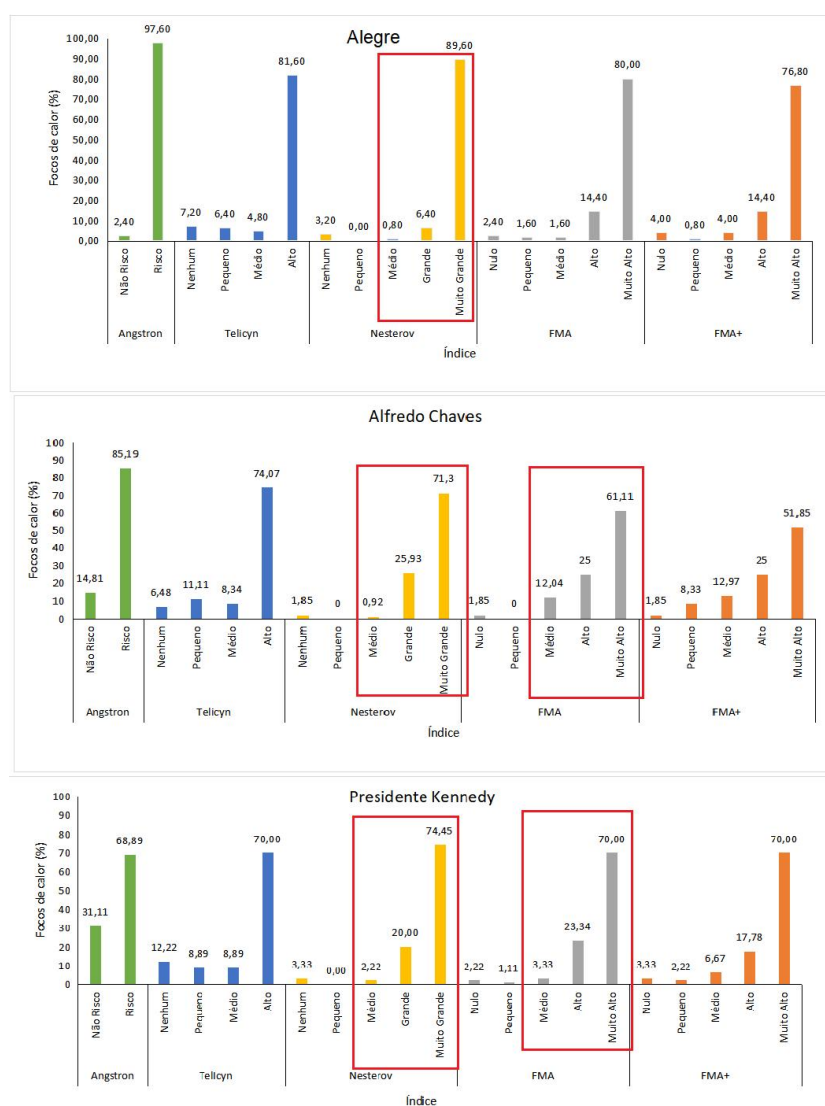


Figura 4 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Sul do ES.
Fonte: O autor (2022).

No geral, os 5 índices apresentaram escala crescente entre as classes de menor e maior risco, característica desejada, de acordo com Nunes *et al.* (2010). O índice de Nesterov apresentou o melhor resultado, ocupando a primeira ou segunda posição nos três municípios avaliados, sendo que em dois municípios ocorreram o empate com Fórmula de Monte Alegre. Rodriguez (2012) verificou o desempenho de Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada para a região de Pinar Del Río (Cuba), com relação a concentração de dias com ocorrência de incêndios florestais, o índice de Nesterov obteve o melhor resultado, em seguida vieram Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada. Verificou-se

também que Nesterov e Fórmula de Monte Alegre apresentaram resultados semelhantes. No geral, as três equações apresentaram escala de risco crescente quanto às classes.

No município Alegre, a equação com melhor desempenho foi o índice logarítmico de Telicyn, seguida pelo índice de Angstron, Monte Alegre Alterada, Nesterov e Monte Alegre. No município de Alfredo Chaves, a equação com maior porcentagem de sucesso e *skill score* foi o índice de Telicyn, seguido pelos índices de Angstron, Monte Alegre Alterada, Nesterov e Monte Alegre, respectivamente. Em Presidente Kennedy os índices com melhores desempenhos foram o índice de Angstron, índice de Telicyn, Monte Alegre Alterada, Nesterov e Monte Alegre, respectivamente. Na Tabela 11 é possível verificar os valores da porcentagem de sucesso e *skill score* para os municípios do Sul do estado.

Tabela 11 - Valores de *skill score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices aplicados aos municípios do Sul do ES.

Índice\ Município	Alegre		Alfredo Chaves		Presidente Kennedy	
	SS	PS	SS	PS	SS	PS
Angstron	0,04	38,53	0,05	53,55	0,05	62,07
Telicyn	0,05	48,46	0,05	56,79	0,03	51,25
Nesterov	0,01	20,59	0,02	25,79	0,01	20,67
FMA	0,01	19,98	0,02	24,76	0,001	19,47
FMA ⁺	0,02	32,97	0,03	41,50	0,02	34,56

Fonte: O autor (2022).

O índice de Telicyn apresentou o melhor resultado de *skill score* e porcentagem de sucesso para dois dos três municípios avaliados, Angstron apresentou o segundo melhor resultado para a região e Fórmula de Monte Alegre Alterada foi a fórmula com o terceiro maior SS e PS para região Sul do Espírito Santo. Gonçalves *et al.* (2020), comparou os 5 índices para a região de Jataí (GO). Assim como no presente trabalho, os índices de Telicyn, Angstron e Fórmula de Monte Alegre Alterada foram os mais efetivos. Contudo, os três índices apresentaram resultados superiores de SS e PS, quando comparados com Alegre e Alfredo Chaves. Apenas a fórmula de Angstron em Presidente Kennedy foi superior ao resultado em Jataí. Em Jataí, Telicyn, Angstron e Fórmula de Monte Alegre

Alterada registraram valores de PS de 63,89%, 58,45% e 57,08%, respectivamente, enquanto no Sul do ES, os valores foram de 56,79%, 62,03% e 41,50%.

4.2 Região Metropolitana

Na região Metropolitana, os municípios de Vila Velha e Vitória possuem informações disponíveis no banco de dados do INMET.

Em Vila Velha, Monte Alegre apresentou a maior concentração de dias nas classes de risco (79,85%), seguida pelas fórmulas de Nesterov (73,44%), Monte Alegre Alterada (59,21%), Telicyn (40,79%) e Angstron (16,78%). Em Vitória, Monte Alegre registrou 79,56% do total de dias com risco de incêndios. Em seguida, os índices com maior porcentagem de dias nas classes de risco foram Nesterov (79,53%), Monte Alegre Alterada (60,05%), Telicyn (44,82%) e Angstron (36,42%).

Em ambos os municípios da região Metropolitana as três fórmulas com maior concentração de dias com risco de incêndios foram, respectivamente, Monte Alegre, Nesterov e Monte Alegre Alterada.

Os índices de Angstron e Telicyn não concentraram os dias previstos nas classes de risco de incêndio. Contudo, Telicyn, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada não apresentaram comportamento totalmente decrescente, sendo notado um aumento na concentração de dias entre as classes média e alta/muito alta, característica indesejável, segundo Nunes *et al.* (2010). Quando consideradas a Fórmula de Monte Alegre, Kovalsyki *et al.* (2014), também notaram acúmulo de dias previstos para as classes média, alta e muito alta no município de Ponta Grossa (PR) e quando somadas, as três classes registraram valores superiores a 70%.

O desempenho das fórmulas quanto ao número de dias com focos de calor apontou que em Vila Velha, Nesterov e Monte Alegre (95,35%) foram as mais eficientes, Monte Alegre Alterada (90,70%) e Telicyn (81,39%) apresentaram resultados intermediários, Angstron (53,49%) registrou o pior resultado para o município. Nesterov (91,35%) foi o índice com melhor resultado para Vitória, Fórmula de Monte Alegre (88,81%), Fórmula de Monte Alegre Alterada (72,77%) e Telicyn (58,01%) obtiveram valores intermediários, Angstron (57,25%) apresentou o menor resultado na capital. Na figura 4 é possível observar a distribuição das classes de risco de cada índice para os municípios.

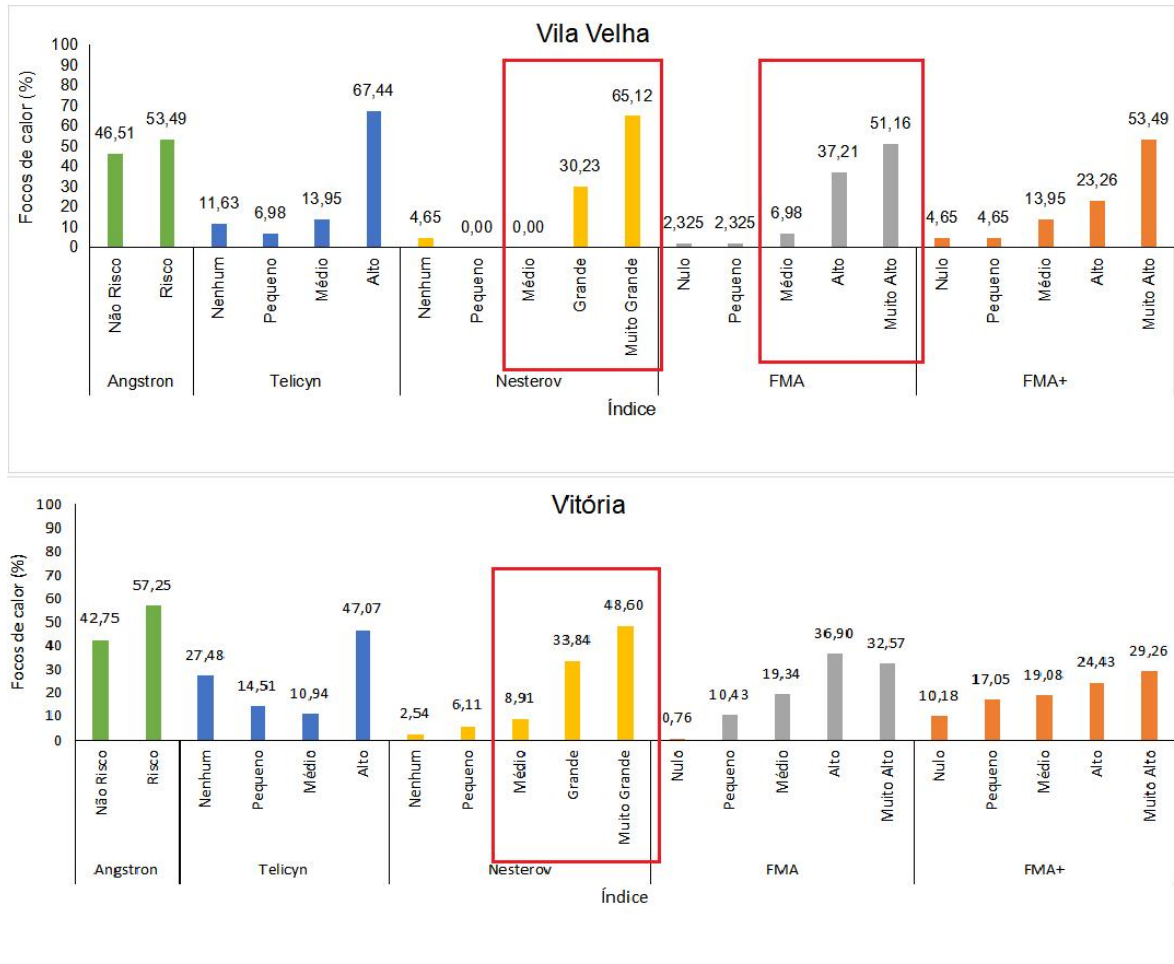


Figura 5 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Metropolitana do ES.

Fonte: O autor (2022).

Observa-se que o índice de Nesterov registrou os valores mais altos para ambos os municípios. Em Vila Velha, todos os índices apresentaram comportamento crescente. Em Vitória, apenas Telicyn e Monte Alegre apresentaram comportamento decrescente entre a classe nulo e muito alto.

Com base nas escalas dos índices foram determinados os valores previstos e observados com ou sem presença de focos de calor. Em seguida, calculou-se o *skill score* e Porcentagem de Sucesso para a região Metropolitana, como apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de *skill score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.

Índice/ Município	Vila Velha		Vitória	
	SS	PS	SS	PS
Angstron	0,14	83,47	0,12	63,24
Telicyn	0,07	61,43	0,07	57,01
Nesterov	0,02	29,77	0,04	29,95
FMA	0,01	23,36	0,03	29,34
FMA ⁺	0,04	43,67	0,05	45,17

Fonte: O autor (2022).

Tanto em Vila Velha como em Vitória, o índice com maior porcentagem de sucesso foi Angstron, o mesmo acontece para *skill score*. O desempenho superior da fórmula pode estar ligado à sua simplicidade, que leva em consideração apenas a temperatura do ar e umidade. O índice apresenta apenas dois resultados possíveis: risco e não risco. White e Ribeiro (2010), para o estado de Sergipe, obtiveram *skill score* de 0,582 e porcentagem de sucesso de 82% para o índice de Angstron, que superou Telicyn, Rodrigues e Moretti, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada.

4.3 Região Serrana

A região Serrana do Espírito Santo possui três municípios com dados de estações automáticas do INMET, são eles: Santa Teresa, Venda Nova Imigrante e Afonso Cláudio.

No município de Afonso Cláudio, Monte Alegre apresentou a maior porcentagem de dias (83,74%) nas classes de maior risco, seguido por Nesterov (83,02%), Monte Alegre Alterada (69,54%) e Telicyn (56,10%). O índice de Angstron foi o que registrou a menor porcentagem de dias nas classes mais altas no município, 44,51% do total de dias se encontrou nas classes média e alta. No município de Santa Teresa, assim como em Alfredo Chaves, os três índices com maior porcentagem de dias nas classes de risco foram Monte Alegre (69,17%),

Nesterov (54,04%) e Monte Alegre Alterada (43,86%), mas em Santa Teresa, Telicyn (28,50%) ocupou a quarta posição e Angstron (2,67%) foi a fórmula com menos dias nas classes de risco. As fórmulas com maior porcentagem de dias com risco de incêndios em Venda Nova do Imigrante foram Monte Alegre (70,07%), Nesterov (69,21%), Monte Alegre Alterada (46,47%), Telicyn (34,10%) e Angstron (29,50%).

Assim como na região Metropolitana, os índices com maior concentração de dias nas classes de risco de incêndios nos municípios da região Serrana foi Monte Alegre, Nesterov e Fórmula de Monte Alegre Alterada. Os resultados similares podem estar ligados a proximidade dos municípios de ambas as regiões.

A fórmula de Angstron nos três municípios, Telicyn e Monte Alegre Alterada em Santa Teresa e Venda Nova, não concentraram a maior parte dos dias previstos nas classes de risco de incêndio.

O desempenho das fórmulas quanto ao número de dias com focos de calor apontou que em Afonso Cláudio, Nesterov apresentou o melhor resultado, com 98,95% dos dias nas classes média, grande e muito grande, em seguida vieram os índices de Monte Alegre (96,86%), Fórmula de Monte Alegre Alterada (89,53%), Angstron (84,29%) e Telicyn (80,10%). Em Santa Teresa, Monte Alegre registrou o melhor desempenho (92,47%), Nesterov (82,41%), Monte Alegre Alterada (69,85%) e Telicyn (52,76%) apresentaram resultados intermediários, Angstron (9,05%) obteve o pior resultado para a cidade. O índice de Nesterov teve eficiência de 93,33% em Venda Nova do Imigrante, enquanto Telicyn registrou 60% de acerto. Monte Alegre (83,34%), Angstron (80%) e Monte Alegre Alterada (66,67%) obtiveram resultados intermediários. Na figura 5 é possível observar o desempenho dos índices.

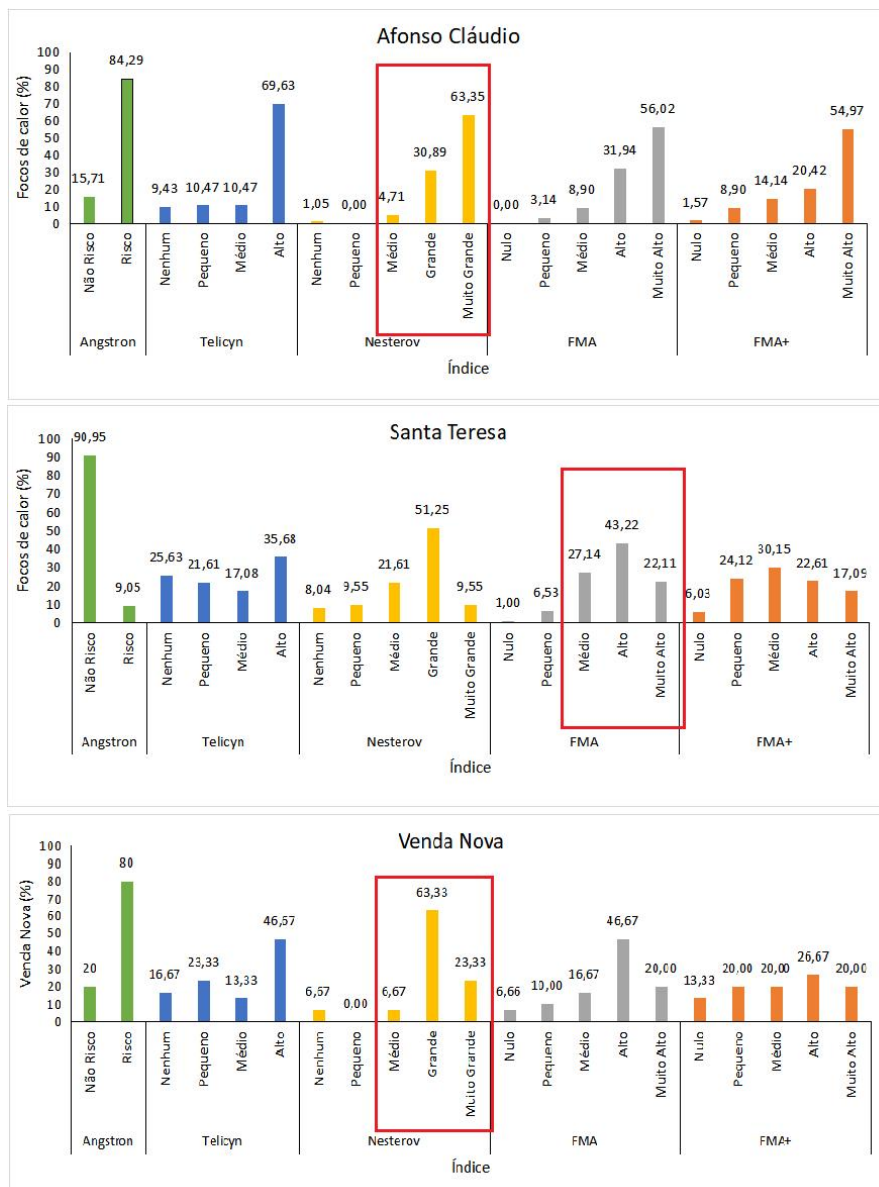


Figura 6 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, na região Serrana do ES. Fonte: O autor (2022).

O índice de Nesterov registrou os maiores valores para os municípios de Afonso Cláudio e Venda Nova. Em Santa Teresa, Fórmula de Monte Alegre apresentou os melhores resultados. Em Afonso Cláudio, todos os índices tiveram comportamento crescente. Em Santa Teresa, nenhum índice apresentou tendência crescente de alocação de dias com focos de calor conforme o aumento do grau de risco. Angstron foi o único índice com comportamento crescente em Venda Nova.

Na Tabela 13 encontra-se os resultados de *skill score* e porcentagem de sucesso para a região.

Tabela 13 - Valores de *skill score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.

Índice/município	Afonso Cláudio		Santa Teresa		Venda Nova	
	SS	PS	SS	PS	SS	PS
Angstron	0,12	60,16	0,10	91,21	0,14	73,09
Telicyn	0,06	48,00	0,11	71,48	0,06	66,76
Nesterov	0,03	23,64	0,08	50,81	0,03	34,53
FMA	0,02	22,65	0,05	37,18	0,02	32,81
FMA+	0,04	35,84	0,09	59,11	0,04	54,96

Fonte: O autor (2022).

Em todos os municípios da região, o índice com maior porcentagem de sucesso foi Angstron. O mesmo aconteceu para *skill score*, exceto na cidade de Santa Teresa, onde Telicyn foi levemente superior. Assim como na região Metropolitana, o índice com melhor resultado para a região Serrana foi Angstron, seguido por Telicyn, Nesterov, Fórmula de Monte Alegre Alterada e Fórmula de Monte Alegre.

4.4 Região Central

A região Central do Espírito Santo é composta por dois municípios com dados no INMET, Linhares e Marilândia.

Em Linhares, do total de dias analisados, 85,27% apresentavam risco de incêndios segundo Monte Alegre. Nesterov ocupou a segunda posição, 84,52% dos dias com indicativo de chances de incêndios, Monte Alegre Alterada (70,73%), Telicyn (50,61%) e Angstron (47,05%) ocuparam, respectivamente, a terceira, quarta e quinta posições. O índice com maior concentração de dias nas classes de risco de ocorrência de incêndios em Marilândia foi Nesterov (83,75%), em seguida vieram Monte Alegre (82,84%), Monte Alegre Alterada (66,06%), Telicyn (52,00%) e Angstron (47,85%).

Em ambas as cidades, o índice de Angstron foi o único que não concentrou a maior parte do total de dias nas classes de risco. A alta concentração de dias nas classes de maior risco em Nesterov e Fórmula de Monte Alegre indicam um possível desajuste para as equações na região, segundo Nunes *et al.* (2010).

Em relação ao número de dias com focos de calor em cada classe, Nesterov obteve o resultado mais expressivo em ambos os municípios. A fórmula acumulou 96,56% dos dias nas classes médio, grande e muito grande em Linhares e 97,83% em Marilândia. Fórmula de Monte Alegre ocupou a segunda posição em Linhares e Marilândia, com 95,87% e 95,65%, respectivamente. Fórmula de Monte Alegre Alterada registrou 87,60% em Linhares e 89,13% em Marilândia, sendo a terceira fórmula com melhor desempenho. Telicyn foi o índice com maior divergência entre os municípios. Em Marilândia, a fórmula apontou que 76,09% dos dias com focos de calor apresentavam risco de incêndio, enquanto em Linhares registrou o acumulado de 70,15%, uma diferença de 5,94%, o mais expressivo para a região. Angstron ocupou a quarta posição em Linhares (72,01%) e a quinta posição em Marilândia (73,91%), sendo a fórmula com pior rendimento na cidade. Na Figura 6 é possível observar o desempenho de cada índice.

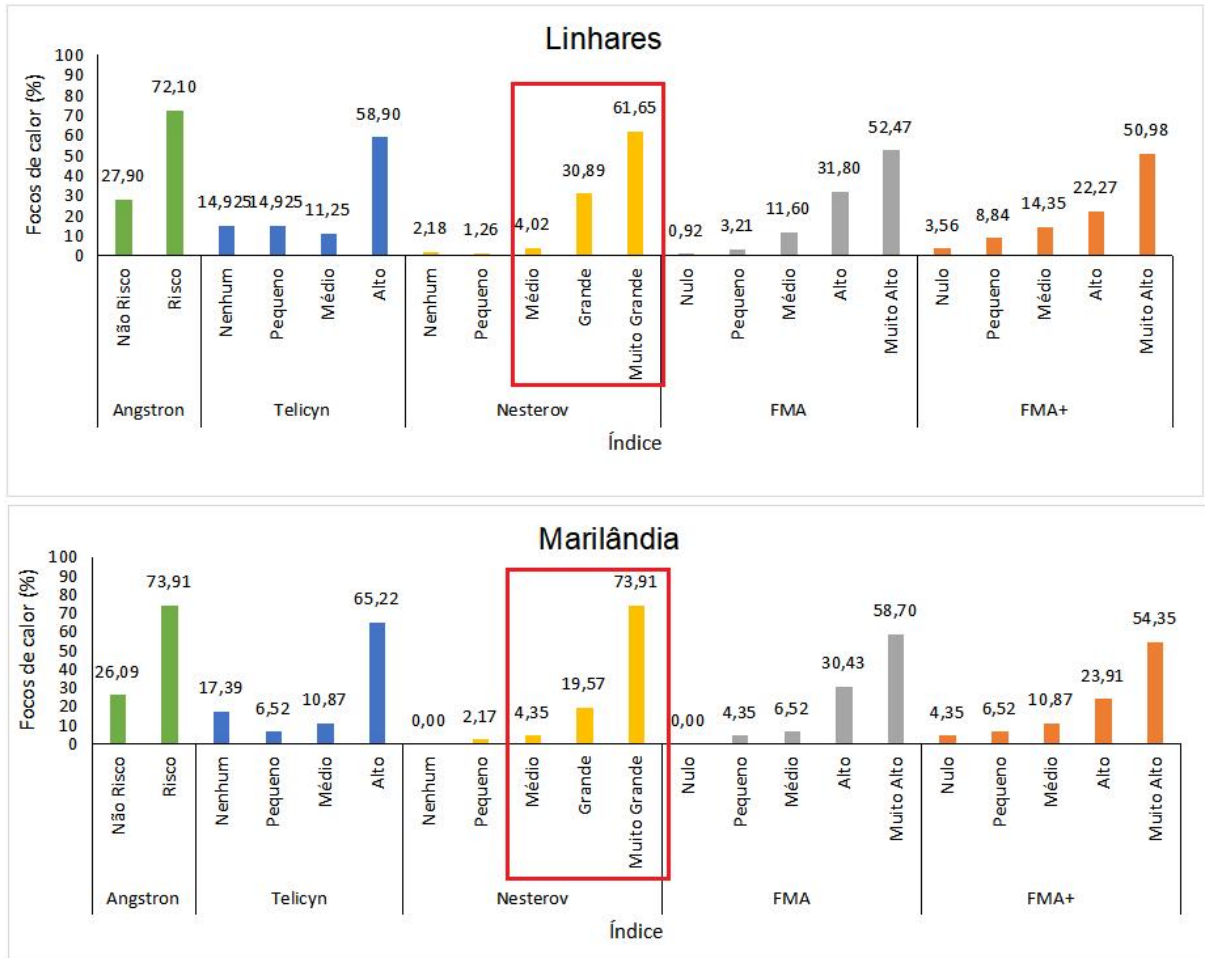


Figura 7 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Central do ES.

Fonte: O autor (2022).

O alto desempenho de Nesterov e Fórmula de Monte Alegre na região pode ser explicada pela grande concentração de dias nas classes de risco nas duas fórmulas. Em ambos os municípios as duas fórmulas concentraram mais de 80% dos dias nas classes de risco. O mal desempenho de Angstrom e de Telicyn também pode ser explicado pela baixa quantidade de dias que ambas as fórmulas apontaram como suscetíveis a incêndio. Tanto em Linhares como em Marilândia, as fórmulas acumularam menos de 55% dos dias nas classes de risco. Naturalmente a concentração de dias com presença de focos também seria menor.

A observação dos valores previstos e observados com e sem presença de focos de calor permitiu o cálculo do *skill score* e porcentagem de sucesso dos

índices para a região Central do Estado. Os resultados encontrados estão dispostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de *skill score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.

Índice/ município	Linhares		Marilândia	
	SS	PS	SS	PS
Angstron	0,28	64,96	0,04	53,82
Telicyn	0,21	60,34	0,03	49,81
Nesterov	0,10	40,78	0,01	19,58
FMA	0,09	39,66	0,01	20,33
FMA ⁺	0,15	49,70	0,02	36,66

Fonte: O autor (2022).

Em ambos os municípios da região Central, o índice com maior *skill score* e porcentagem de sucesso foi Angstron. O índice apresentou valores altos de SS e PS por se tratar de uma fórmula mais simples e que apresenta apenas dois resultados possíveis: “Risco” e “Não Risco”. Isso conferiu acertabilidade na determinação dos verdadeiros positivos e negativos necessários para o cálculo estatístico. Telicyn e Angstron apresentaram a maior concentração de dias com baixo risco de ocorrência de incêndios. Isso garantiu altos valores de PS para as fórmulas de Telicyn e Angstron. A superioridade de Telicyn em relação a Nesterov, Fórmula de Monte Alegre Alterada e Fórmula de Monte Alegre foi observada por Torres *et al.* (2017), no estudo de incêndios florestais em Viçosa (MG).

4.5 Região Norte

No Norte do Espírito Santo os municípios de Ecoporanga, Nova Venécia e São Mateus são os únicos com estações meteorológicas automáticas.

Em Ecoporanga, os índices de Monte Alegre e Nesterov registraram a maior alocação de dias nas classes de risco mais altas (82,35%), seguidos de Monte Alegre Alterada (61,57%), Telicyn (43,92%) e Angstron (35,29%). A fórmula de Monte Alegre apontou que em Nova Venécia 86,67% dos dias apresentavam risco de incêndios. Nesterov registrou o acúmulo de 85,92% dos dias nas classes de risco,

em seguida vieram os índices de Monte Alegre Alterada (72,65%), Angstron (57,43%) e Telicyn (54,57%). Em São Mateus, os índices com maiores concentrações de dias nas classes de risco foram, respectivamente, Monte Alegre (83,32%), Nesterov (81,36%), Monte Alegre Alterada (65,08%), Telicyn (44,39%) e Angstron (16,98%).

No Norte do Estado, a Fórmula de Monte Alegre apresentou a maior tendência de acumulação de dias nas classes de risco de incêndios. Nesterov ocupou a segunda posição em dois municípios e Fórmula de Monte Alegre Alterada ocupou a terceira posição nos três municípios avaliados. Borges *et al.* (2011), comparando as fórmulas de Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada para plantios de eucalipto nos municípios de São Mateus e Conceição da Barra, no Norte do Espírito Santo, verificou que, respectivamente, os índices com maior tendência de acúmulo foram Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada. Os autores afirmam que a provável causa da menor tendência de risco em Monte Alegre Alterada é em função da componente velocidade do vento. A diferença temporal entre os trabalhos, o uso de focos de calor e o tamanho da área de estudo podem explicar as divergências entre os resultados do presente trabalho e os obtidos por Borges *et al.* (2011).

O desempenho de cada índice nos dias de ocorrência de incêndios para o município de Ecoporanga apontou que Nesterov acumulou 91,67% do total de dias nas classes de risco, Monte Alegre registrou 83,33% dos dias nas classes média, alta e muito alta, Angstron concentrou 75% dos dias nas classes de risco. Fórmula de Monte Alegre Alterada (66,67%) e Telicyn (50%) registraram o menor acúmulo nas classes de risco. Na cidade de Nova Venécia, o índice de Nesterov apresentou o melhor desempenho, com acertabilidade de 99,17%. Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada obtiveram 97,53% e 90,69%, respectivamente. Angstron (87,95%) e Telicyn (77,26%) tiveram os piores resultados para o município. Em São Mateus, as fórmulas com melhores resultados foram Nesterov (97,13%), Monte Alegre (96,70%), Monte Alegre Alterada (85,14%), Telicyn (66,20%) e Angstron (31,36%), respectivamente. Os resultados de cada índice podem ser observados na figura 8.

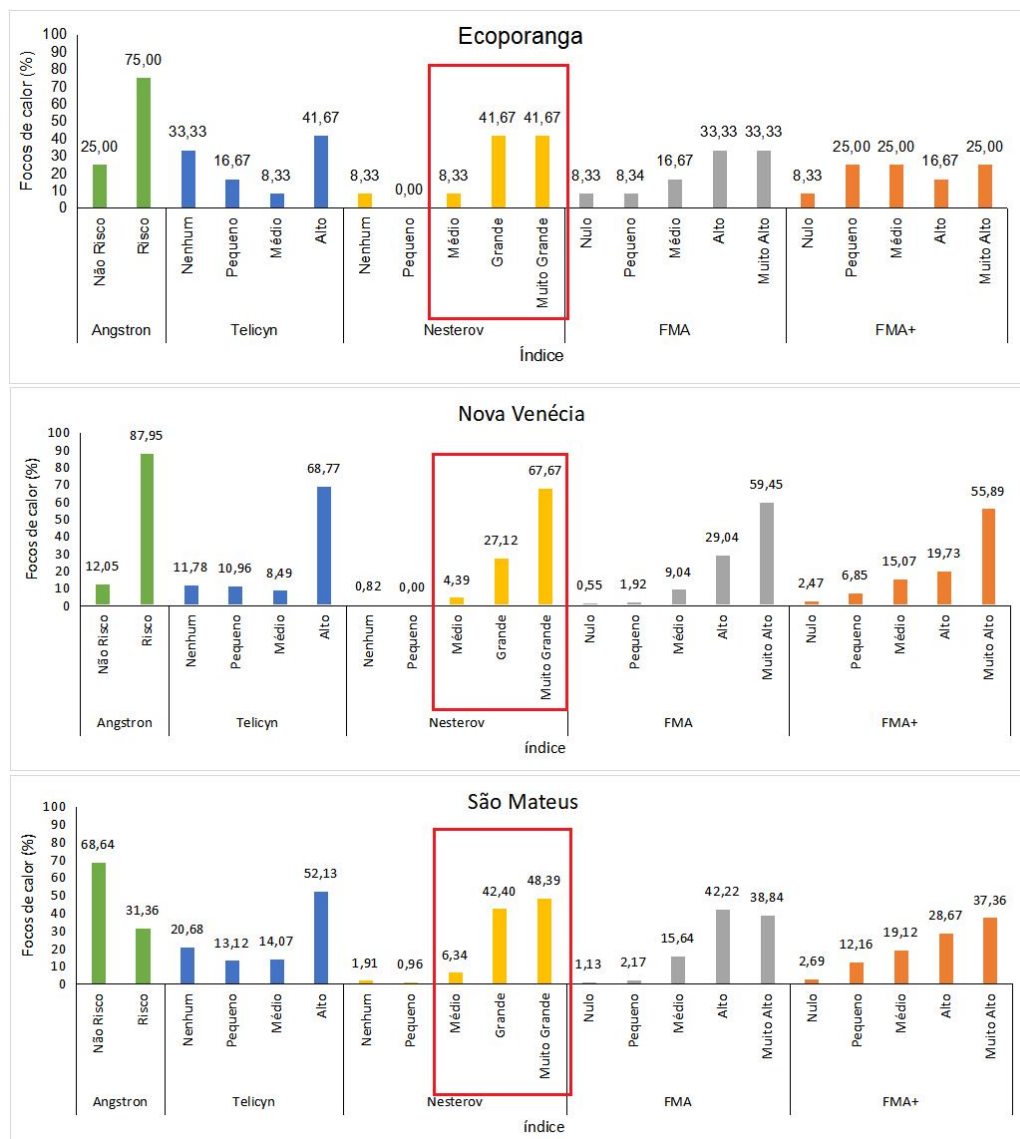


Figura 8 - Ocorrência de focos de calor, em porcentagem, para a região Norte do ES.

Fonte: O autor (2022).

A quantificação do número de dias com ocorrência de focos de calor apontou que Nesterov foi o índice de maior concentração nas classes de risco, principalmente nas classes grande e muito grande. A pesquisa de Borges *et al.* (2011) apontou a mesma tendência para a fórmula. Verificou-se a tendência da Fórmula de Monte Alegre e Monte Alegre Alterada de concentrarem os registros de focos de calor nas classes mais altas. Fórmula de Monte Alegre foi a fórmula com a segunda maior concentração nos três municípios, enquanto Fórmula de Monte Alegre Alterada ocupou a terceira posição em dois municípios da região Norte.

Borges *et al.* (2011) verificou a mesma tendência para as plantações de eucalipto, onde Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada também apresentaram tendência de agrupamento nas classes de risco, sendo Monte Alegre e Monte Alegre Alterada os índices com a segunda e terceira maior taxa de concentração, respectivamente. O índice de Telicyn apresentou o menor acúmulo de dias nos municípios de Ecoporanga e Nova Venécia.

A partir das informações das escalas dos índices foi possível realizar os cálculos estatísticos, os resultados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores de *skill score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS) para os índices.

Índice/Município	Ecoporanga		Nova Venécia		São Mateus	
	SS	PS	SS	PS	SS	PS
Angstron	0,10	67,06	0,13	51,58	0,24	70,97
Telicyn	0,01	56,08	0,10	51,90	0,29	66,09
Nesterov	0,01	21,57	0,04	25,76	0,16	48,60
FMA	0,001	20,78	0,03	24,62	0,14	46,86
FMA ⁺	0,007	40	0,06	37,01	0,23	57,64

Fonte: O autor (2022).

O índice de Angstron apresentou o maior valor de *skill score* para os municípios de Ecoporanga e Nova Venécia, enquanto em São Mateus, o maior valor de *skill score* foi de Telicyn. Em Ecoporanga e São Mateus, a maior porcentagem de sucesso foi obtida pela fórmula de Angstron. No município de Nova Venécia, Telicyn teve a maior porcentagem de sucesso.

Quando comparados os resultados de SS para Nesterov, Fórmula de Monte Alegre e Fórmula de Monte Alegre Alterada, São Mateus e Nova Venécia registraram maiores valores para Fórmula de Monte Alegre Alterada, enquanto Ecoporanga registrou o valor superior em Nesterov. Os resultados de São Mateus e Nova Venécia estão de acordo com a pesquisa de Borges *et al.* (2011), que apontou a superioridade da fórmula, em comparação com os outros dois índices. Segundo o autor, Nesterov obteve o segundo melhor resultado para a área de eucalipto. Para PS, Fórmula de Monte Alegre Alterada foi superior nos três municípios, Nesterov apresentou valores medianos e Fórmula de Monte Alegre obteve o pior desempenho. A comparação dos resultados de PS para os três índices é condizente com o trabalho de Borges *et al.* (2011), que também obteve valores maiores para Fórmula

de Monte Alegre Alterada, medianos para Nesterov e os menores valores em Fórmula de Monte Alegre.

4.6 Extrapolação para as regiões

4.6.1 Região Sul

De maneira geral, todas as cidades avaliadas no Sul do estado apresentaram maior concentração dos dias avaliados nas classes de perigo em Fórmula de Monte Alegre. A análise preliminar dos dados indica que a fórmula está desbalanceada para a região, sendo necessário o ajuste para melhor adequação. O índice com menor concentração de dias nas classes de risco para todos os municípios da região foi Telicyn.

A avaliação dos dias com registros de focos de calor indicou que o índice de Nesterov apresentou os melhores resultados para os municípios, apresentando a escala crescente entre as classes de risco, conforme apontado na figura 3.

A avaliação do SS e PS indicou que Telicyn apresentou os melhores resultados para os três municípios avaliados, sendo pelo menos 3% superior aos demais índices. Com base nos dados, pode-se realizar a extrapolação de Telicyn como índice indicado para os municípios da região.

4.6.2 Região Metropolitana

Na região, Fórmula de Monte Alegre foi o índice com maior concentração de dias nas classes de risco de ocorrência de incêndios florestais, seguido por Nesterov. Em ambos os municípios da região, Angstron foi o índice com menor concentração de dias na classe de risco.

Em relação ao desempenho dos índices nos dias com focos de calor, Angstron foi o índice com pior resultado em ambos os municípios e Nesterov o índice com os melhores resultados.

A análise do *skill score* e porcentagem de sucesso indicam que em ambos os municípios, Angstron foi o índice com melhores resultados. Como os resultados de ambos os municípios foram bastantes similares, é indicado para a região Metropolitana o uso da equação de Angstron. Ressalta-se que Fórmula de Monte

Alegre apresenta resultados que indicam um possível desequilíbrio para a região, o ajuste da fórmula pode gerar melhores resultados.

4.6.3 Região Serrana

Nos três municípios da região Serrana, a Fórmula de Monte Alegre apresentou a maior concentração de dias nas classes de risco, quando avaliado o total de dias, enquanto Angstron apresentou os piores resultados. Nesse sentido, o índice de Angstron apresentou resultados superiores para a região Serrana do estado.

A avaliação dos dias com ocorrência de focos de calor indicou que Nesterov apresentou os melhores resultados para a região, ocupando a primeira posição em dois municípios avaliados. Telicyn foi a fórmula com os piores resultados nesse quesito para a região Metropolitana, ocupando a última ou penúltima posição nas cidades avaliadas.

A avaliação do *skill score* e porcentagem de sucesso indicaram que nos três municípios o índice de Angstron apresentou resultados superiores, Fórmula de Monte Alegre foi a fórmula com o pior resultado. A partir dos dados apresentados, pode-se afirmar que Angstron é a fórmula mais indicada para a região Serrana do Espírito Santo.

4.6.4 Região Central

Na região Central, o índice de Angstron foi a fórmula com menor concentração de dias na classe de risco, os índices que mais concentraram foram Monte Alegre e Nesterov, ambos ocuparam a primeira e segunda posição em dois municípios.

Em relação a concentração de dias com focos de calor, Nesterov apresentou o melhor resultado em todos os municípios avaliados. Telicyn foi a fórmula com resultado mais divergente para a região.

A avaliação da porcentagem de sucesso e *skill score* apontou que Angstron obteve o melhor resultado para os municípios avaliados. Os índices com valores menos expressivos foram Nesterov e Fórmula de Monte Alegre. Indica-se o uso de

Angstron para os municípios da região Central, caso seja necessário o uso de fórmulas com diferentes graus de risco, aconselha-se o uso de Telicyn, que apresentou o segundo melhor resultado para a região.

4.6.5 Região Norte

Considerando o total de dias avaliados, a Fórmula de Monte Alegre apresentou a maior concentração de dias nas classes de risco de incêndios, com valores em torno de 82% a 86%. De maneira geral, Angstron foi o índice com menor quantidade de dias na classe de risco. O índice ocupou a última posição em dois municípios e a penúltima em uma cidade.

Os desempenhos dos índices em dias com focos de calor apontaram que Nesterov obteve a maior alocação de dias nas classes de risco nos municípios avaliados. O índice com a menor alocação foi Telicyn, que ocupou a quinta posição em dois municípios e a quarta em um município.

A avaliação do *skill score* e porcentagem de sucesso apontou que Angstron é o índice com melhor resultado para a região. A fórmula ocupou a primeira posição em duas cidades (Ecoporanga e São Mateus) e a segunda posição em Nova Venécia. Caso seja preciso considerar diferentes graus de risco de ocorrência, é indicado o uso de Telicyn, que ocupou a segunda posição em dois municípios (Ecoporanga e São Mateus) e foi o índice com melhor resultado em Nova Venécia.

Na Tabela 16 verifica-se o índice mais indicado para cada região.

Tabela 16 - Índice mais adequado para as regiões do ES.

Região	Índice
Sul	Telicyn
Metropolitana	Angstron/Telicyn
Serrana	Angstron/Telicyn
Central	Angstron/Telicyn
Norte	Angstron/Telicyn

Fonte: O autor (2022).

5 CONCLUSÕES

- O índice mais indicado para o Espírito Santo é o índice de Ångstron, seguido de Telicyn;
- A avaliação dos dias totais indicou que Monte Alegre apresentou a maior concentração de dias em todos os municípios. Esse resultado pode indicar um desbalanceamento da fórmula para o Espírito Santo.
- Devido ao maior *skill score* e porcentagem de sucesso, indica-se o uso do índice de Angstron em Presidente Kennedy, Afonso Cláudio, Santa Teresa, Venda Nova, Vila Velha, Vitória, Marilândia, Linhares, Nova Venécia e São Mateus;
- Em Alegre e Alfredo Chaves é indicado o uso de Telicyn.
- Em pesquisas futuras é indicado a realização do ajuste da Fórmula de Monte Alegre para as condições do estado do Espírito Santo

6. REFERÊNCIAS

- ALPERSON-AFIL, N; GOREN-INBAR, N. Out of Africa and into Eurasia with controlled use of fire: Evidence from Gesher Benot Ya'aqov, Israel. **Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia**, Novosibirisk, v. 28, n. 1, p. 63-78, 2006.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Borntraeger, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, R. N. B; MODESTO JÚNIOR, M. S; HOMMA, A. K. O; LOPES, O. M. N; MENEZES, A. J. E. A; CARVALHO, J. U. **Roça sem fogo**. 1 ed. Brasília: Embrapa, 2020, p. 35-40.
- BARCELLOS, C; XAVIER, D; HACON, S; ARTAXO, P; GRACIE, R; MAGALHÃES, M; MATOS, V; MONTEIRO, A. M; FEITOSA, P. **Queimadas na Amazônia e seus impactos na saúde: A incidência de doenças respiratórias no sul da Amazônia aumentou significativamente nos últimos meses**. Rio de Janeiro: FioCruz, 2019. Disponível em: <https://climaesaude.icict.fiocruz.br/sites/climaesaude.icict.fiocruz.br/files/informe_observatorio_queimadas.pdf> Acesso em: 30 maio. 2021.
- BARROS, S. L. S; ALMEIDA, M. A. T. **Introdução às ciências físicas 2**. vol. 5. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2008, p. 98-108.
- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 45-54, 2000.
- BORGES, T. S; FIEDLER, N. C; SANTOS, A. R; LOUREIRO, E. B; MAFIA, G, R. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. **Floram**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 153-159, 2011.
- CARMO, C. N; HACON, S. S. Estudo de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciência e saúde**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 3245-3258, 2013.
- CARMODY, R. N; WRANGHAN, R. W. The energetic significance of cooking. **Journal of human evolution**, v. 57, n. 4, p. 379-391, 2009.
- CASTRO, C. F; SERRA, G; PAROLA, J; REIS, J; LOURENÇO, L; CORREIA, S. **Combate a incêndios florestais**. ed. 2. Sintra: Escola nacional de bombeiros, 2003, p.95.
- CAUMO, S. E; GIODA, A; CARREIRA, R; JACOBSON, L. S. V; HACON, S. Impactos a saúde humana causados pela exposição a incêndios florestais: as evidências obtidas nas últimas duas décadas. **Revista brasileira de climatologia**, Dourados, v. 30, p. 184-218, 2022.
- DE JESUS, A. G; PARENTE, T. G; CANÇADO, A. C; GOMES, H. Prática da cultura da queima nas atividades agropecuárias e suas implicações no estado do Tocantins. **Revista de Políticas Públicas**, São Luís, v. 24, n. 1, p. 205-225, 2020.

DE JESUS, J. B; ROSA, C. N; BARRETO, I. D. C; FERNANDES, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176-191, 2020.

FIEDLER, N. C; SANT'ANNA, C. M. Cálculo de risco de incêndios florestais. In: FIEDLER, N. C; SANT'ANNA, C. M; RAMALHO, A. H. C. **Incêndios florestais**. 1º ed. Jerônimo Monteiro: UFES, 2020. p 117 – 126.

FIEDLER, N. C; LACERDA, G. T; RAMALHO, A. H. C; BERUDE, L. C; NEVES, F. P; RODRIGUES, C. K. Reproductive system of *Mimosa scabrella* in consecutive reproductive events in the mountainous region of Santa Catarina state. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 2, p. 1259-1266, 2020.

FRUEHAUF, A. L; SILVA, P. V; LOMBARDO, M. A. O uso de geotecnologias e análise estatística dos incêndios florestais na Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Brazilian journal of development*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 449-464, 2022.

GARBIN, M. L; SAITER, F. Z; CARRIJO, T. T; PEIXOTO, A. L. Breve histórico e classificação da vegetação capixaba. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 5, p. 1883-1894, 2017.

GIBBONS, A. Food for thought: did the first cooked meals help fuel the dramatic evolutionary expansion of the human brain?. **Science**, Washinton DC, v.316, p.1558 - 1560, 2007.

GONÇALVES, D.M; DIAS, D. P. Eficiência de cinco índices de perigo de incêndios para o município de Jataí-GO. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 127, p. 1-11, 2020.

GUIMARÃES, P; SOUZA, S; FIEDLER, N. C; SILVA, A. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. **Agrarian academy**, Jandaia, v. 1, n. 1, 2014.

HACON, S.S; GONÇALVES, K. S; BARCELLOS, C; OLIVEIRA-DA-COSTA, M. **Amazônia brasileira: Potenciais impactos das queimadas sobre a saúde humana no contexto da covid-19**. Brasília: WWF, 2021. Disponível em: <https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/nota_tecnica_covid_x_queimadas_n_a_amazonia_arquivo_final.pdf> Acessado em: 30 maio. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Espírito Santo**. Brasília: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama>>. Acessado em: 01 dez. 2021.

INPE - INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Área queimada km²**. Brasília: INPE, 2021. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq1km/>> Acessado em 02 dez. 2021.

IJSN - INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Panorama econômico Espírito Santo: 1º Trimestre 2021**. Vitória: Instituto Jones dos Santos Neves, 2021. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/7434>> Acessado em: 01 dez. 2021.

KOVALSYKI, B; TETTO, A. F; BATISTA, A. C; SOUSA, N. J; TAKASHINA, I. K. Avaliação da eficiência da fórmula de monte alegre para o Município de Ponta Grossa-PR. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 208-218, 2014.

LATUF, M. O; RIOS, G. S; PEREIRA, R. C. Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. **Cerrado**, Montes Claros, v. 20, n. 1, p. 120-148, 2022.

LOURENÇO, L; SERRA, G; MOTA, L; PAÚL, J. J; CORREIA. S; PAROLA, J; REIS, J. **Manual de combate a incêndios florestais para equipas de primeira intervenção**. ed. 3. Sintra: Escola nacional de bombeiros, 2006, p. 95-134.

MACHADO, N.G; SILVA, F. C. P; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndios e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá- MT, Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014.

MEDEIROS, M. B. Manejo do fogo em unidades de conservação do cerrado. Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer, Brasília, v. 10, p. 76-89, 2002.

NESTEROV, V. G. U.S.S.R Forest fire research and methods of fire control. **Fire Control Notes**, Washington D.C., v. 26, n. 4, p. 12 – 14, out. 1965.

NUNES, J. R; FIER, I. S. N; SOARES, R. V; BATISTA, A. C. Desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) no Distrito Florestal de Monte Alegre. **Floresta**, Rio Negro, v. 40, n. 2, 2010.

NUNES, J. R. S; SOARES, R. V; BATISTA. A. C. Fórmula de Monte Alegre⁺ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 75 – 91, 2006.

OLIVEIRA, M. C. F. Risco de ocorrência de queimada e de incêndio e as medidas de prevenções, em Belém – PA, ano de 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 09, n. 04, p. 1030 – 1042. 2016.

PROJETO MAPBIOMAS – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, Cicatrizes de fogo**. Acessado através do link: <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>> Acesso em: 10 jun. 2021.

RIBEIRO, G. Estratégias de prevenção contra os incêndios florestais. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 243-247, 2004.

RIBEIRO, L; KOPROSKI, L. P; STOLLE, L; LINGNAU, C; SOARES, R. V; BATISTA, A. C. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental do canguri, Pinhais (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.

RODRÍGUEZ, M. P. **Desempeño de los índices de Nesterov, Fórmula de Monte Alegre y Fórmula de Monte Alegre alterada en la Empresa Forestal Macurije, Pinar del Río, Cuba**. 2012. Tese de Doutorado. Tese (Pós-doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Brasil: Paraná;

SANT'ANNA, C. M; FIEDLER, N. C; RAMALHO, A. H. C. Métodos de propagação dos incêndios florestais e fatores influentes. In: FIEDLER, N. C; SANT'ANNA, C. M; RAMALHO, A. H. C. **Incêndios florestais**. 1° ed. Jerônimo Monteiro: UFES, 2020.p 33-46.

SANT'ANNA, C. M; FIEDLER, N. C; RAMALHO, A. H. C; MENEZES, R. A. S. Origem e utilização do fogo. In: FIEDLER, N. C; SANT'ANNA, C. M; RAMALHO, A. H. C. **Incêndios florestais**. 1° ed. Jerônimo Monteiro: UFES, 2020. p 117 – 126.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice perigo de incêndio para região centro-paranaense, Brasil**. Turrialba, Costa Rica: Dissertação (Mestrado), Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, 1972.

SOARES, R. V; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, Curitiba, v.32, n. 2, p. 219-232, 2002.

TELICYN, G. P. Logarithmic index of fire weather danger for forests. **Lesnoe Khozyaistvo**, n. 11, p. 58-9, 1970.

TORRES, F. T. P; LIMA, G. S; MARTINS, S. V; VALVERDE, S. R. Analysis of efficiency of fire danger indices in forest fire prediction. **Revista árvore**, Viçosa, v. 41, 2017.

TORRES, F.T.P; LIMA, G. S; OLIVEIRA, E. R. S; LOURENÇO, L. F; FÉLIX, F. R.F ; RIBEIRO, G. A; FONSECA, E. M. B. **Manual de prevenção e combate de incêndios florestais**. ed. 1. Viçosa: Os autores, 2020. p. 110.

TORRES, F. T. P; RIBEIRO, G. A; MARTINS, S. V; LIMA, G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista árvore**, Viçosa, v. 35, n.1, p. 143-150, 2011.

VAN DER WERF, G. R; RANDERSON, J. T; GIGLIO, L; COLLATZ, G. J; MU, M; KASIBHATLA, P.S; MORTON, D.C; DEFRIES, R. S; VAN LEEUWEN T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric chemistry and physics**, v. 10, n. 23, p. 11707-11735, 2010.

WHITE, B. L. A; RIBEIRO, A. S. Análise da eficiência dos índices de perigo de ocorrência de incêndios florestais para o Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe. **Pensar a (In) Sustentabilidade: Desafiosa Pesquisa**, p. 197-209, 2010.

ZICCARDI, L. G; THIERSCH, C. R; YANAI, A. M; FEARNside, P. M; FERREIRA-FILHO, P. J. Forest fire risk indices and zoning of hazardous areas in Sorocaba, São Paulo state, Brazil. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 2, p. 581-590, 2020.