



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

FERNANDO COELHO EUGENIO

ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIOS EM FLORESTAS PLANTADAS

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

FERNANDO COELHO EUGENIO

ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIOS EM FLORESTAS PLANTADAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz Duguy Pedra

Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

E87a Eugenio, Fernando Coelho1989-
Análise de risco de incêndios em florestas plantadas/ Fernando Coelho Eugenio. – 2017.
161f. : il.

Orientador:Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientadores: Beatriz Duguy Pedra, José Eduardo Macedo Pezzopane.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Florestas - Proteção. 2. Incêndios florestais. 3. Geotecnologia ambiental. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II.Pedra, Beatriz Duguy. III. Pezzopane, José Eduardo Macedo. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIOS EM FLORESTAS PLANTADAS

FERNANDO COELHO EUGENIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais, na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 02 de junho de 2017.

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof.^a Dr.^a. Beatriz Duguy Pedra (Coorientadora)
Universidade de Barcelona - Espanha

Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
(Coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler (Membro interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Jéferson Luiz Ferrari (Membro externo)
Instituto Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Alexandre Rosa dos Santos, pelo acompanhamento da minha trajetória acadêmica e por acreditar em meu potencial. 'Os bons mestres são o segredo para profissionais competentes e apaixonados pelo que fazem'.

Agradeço a minha família pelo apoio e incentivo constantes. A minha esposa Lara Carlette Thiengo, pelas inúmeras ajudas, imensa compreensão e principalmente por ser minha parceira na caminhada. A minha mãe e ao meu pai, *agradecimentos eternos, pois, sem vocês, nada seria*. Aos meus irmãos Magno e Wagner, *pelas ajudas financeiras e por serem espelhos para mim*. A família da minha esposa, por sempre me acolher tão bem, mesmo em momentos difíceis. Aos meus amigos por tornarem a caminhada mais agradável, especialmente ao Estevão Giacomini, Rafael Borges, Lorena Aranha, Vinicius de Oliveira, Vinicius e Milene Fontes.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - PPGCF, pelas brilhantes contribuições, especialmente ao Prof. José Eduardo Macedo Pezzopane pela coorientação e amizade. Agradeço também aos professores Nilton e Jéferson, por terem aceitado participar deste momento tão importante de minha trajetória acadêmica, compondo a banca avaliadora.

À FAPES pela concessão da bolsa de estudo e também ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos referente ao meu período do doutorado *sandwich* em Barcelona, Espanha. Certamente, este período de estudos no exterior pode ser definido como a maior e a melhor experiência de vida pessoal e acadêmica. Estendo os meus agradecimentos a coorientadora Prof.^a Beatriz Duguay Pedra, que me acolheu em sua Universidade e cidade, como se eu fosse um amigo de longa data, me propiciando experiências incríveis e um saber imensurável de como deve ser nosso olhar para a vida e para a ciência.

Agradeço à empresa FIBRIA Celulose S.A. pela concessão dos dados meteorológicos e de incêndios para a realização do trabalho, em especial aos colaboradores Reginaldo, Edmilson, Maria de Lourdes e Rodolfo.

Agradeço aos amigos que tanto colaboraram com minhas análises Lucas Vital, Giselle Chieppe e Allan Rocha.

E agradeço, sobretudo a Deus, por permitir que eu tenha tanto a agradecer.

'Ninguém vence sozinho, nem no campo, nem na vida!
(Papa Francisco)

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Incêndios florestais e a temperatura do ar	16
2.2 Incêndios florestais e a precipitação pluviométrica	17
2.3 Incêndios florestais e a umidade relativa do ar	19
2.4 Incêndios florestais e a ação antrópica	20
2.5 Incêndios florestais e as condições meteorológicas	22
2.6 Índices de perigo de incêndios florestais.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Área de estudo e preparo da base de dados	34
3.2 Classificação climática empírica por meio da análise de agrupamento hierárquico: Aplicação em incêndios florestais.....	35
3.3 Estatística dos incêndios florestais nas áreas de florestas plantadas	37
3.4 Aplicação e ajuste do <i>Fire Weather Index</i> em áreas de florestas plantadas ...	41
3.5 Aplicação e ajuste da Fórmula de Monte Alegre Modificada em áreas de florestas plantadas	49
3.6 Aplicação e análise do Risco de Fogo em áreas de florestas plantadas.....	51
3.7 Desenvolvimento de um sistema de risco de incêndios florestais baseado em banco de dados de áreas de florestas plantadas (<i>RIF-Database</i>)	55
3.8 Seleção de modelo de risco de incêndios florestais para as áreas de florestas plantadas.....	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1 Classificação climática	63
4.2 Estatística dos incêndios florestais	68
4.3 <i>Fire Weather Index</i> (FWI).....	90
4.4 Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA ⁺)	100
4.5 Risco de Fogo (RF).....	112
4.6 <i>RIF-Database</i>	119
4.7 Seleção do modelo de risco de incêndios florestais.....	126
5 CONCLUSÕES	133

6 AGRADECIMENTOS	135
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
APÊNDICE 1	152
APÊNDICE 2	154
APÊNDICE 3	163

RESUMO

EUGENIO, Fernando Coelho. **Análise de risco de incêndios em florestas plantadas**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a. Beatriz Duguy Pedra. Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

Nos casos em que a prevenção não é suficiente para evitar a deflagração de um incêndio florestal, a rápida detecção do mesmo constitui fator decisivo para minimizar os possíveis danos provocados pelo fogo, bem como a redução dos custos associadas ao seu combate. Mediante tal contexto, com esta pesquisa objetivou-se desenvolvimento de um modelo de risco baseado em banco de dados e avaliar, juntamente com outras três metodologias de riscos de incêndios florestais, a que melhor representa os incêndios florestais em áreas de florestas plantadas na costa centro-norte do estado do Espírito Santo e costa sul da Bahia, contemplando as seguintes etapas metodológicas: a) Determinação das áreas com clima homogêneo; b) Estatística dos incêndios florestais; c) Cálculo e espacialização dos índices de risco de incêndios florestais: *Fire Weather Index* (FWI); Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) e Risco de Fogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (RF); d) desenvolver um modelo para cálculo do risco de incêndios florestais baseado em banco de dados (RIF-*Database*); e, f) Escolhados modelos de riscos, a partir dos incêndios florestais catalogados pela empresa FIBRIA Celulose S.A. A metodologia adotada mostrou-se eficiente para o agrupamento de estações meteorológicas em três subzonas climáticas homogêneas para a área de estudo. Os resultados evidenciam que há duas épocas de ocorrência de incêndios florestais na área estudada, sendo que para a primeira época, a subzona 1 é de dezembro a março, para a subzona 2 é de janeiro a março, e para a subzona 3 está nos meses de janeiro e fevereiro. A segunda época, para todas as subzonas, é entre os meses de agosto a outubro. O modelo FWI apresentou os melhores resultados para a subzona 1, o modelo *RIF-Database* apresentou resultados excelentes, é o recomendado para as subzonas 2 e 3. O modelo FWI é visto como o modelo mais próspero para a área de estudo, uma vez que, encontrou valores superiores, para uma subzona, ao modelo desenvolvido por meio da base de dados da área de estudo, entretanto, será necessário um estudo para a calibração dos seus parâmetros.

Palavras-chave: FMA⁺; FWI; Geotecnologias; Proteção florestal; RF; RIF-*Database* Risco de incêndio.

ABSTRACT

EUGENIO, Fernando Coelho. **Analysis risk of fires in planted forests**. 2017. Tesis (Doctor of Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co Advisor: Prof.^a. Dr^a. Beatriz Duguy Pedra. Co Advisor: Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane.

In cases where prevention is not sufficient to prevent a forest fire, a rapid detection of it is a decisive factor to minimize the damage caused by fire, as well as the reduction of costs associated with its combat. Within this context, with this research we aimed to developed a *Database*-based risk model and to evaluate, along with other methodologies of forest fire risk, the one that best represent the forest fires in areas of planted forests on the central coast of Espírito Santo state and Bahia south coast. A) Determination of areas with a homogeneous climate; B) Statistics on forest fires; C) Calculation and spatialization of forest fire risk indexes: Fire Weather Index (FWI); Monte Alegre Altered Formula (FMA +) and Fire Risk of the National Institute of Space Research (RF); D) to develop a model for calculating the risk of forest fires based on the *Database* (RIF-*Database*); and, f) Selection of risk models from the forest inventories cataloged by FIBRIA Celulose S. A. The methodology adopted proved to be efficient for the grouping of meteorological stations in three homogeneous climatic subzones for a study area. There are two phases of forest fires in the studied area, being the first fase, subarea 1, from december to march, for subarea 2 from january to march and for subarea 3 in the months of january and february. The second season, for all subzones, is placed between the months of august to october. The FWI model presented the best results for a subarea 1. The *RIF-Database* model presented excellent results, being the model used for subareas 2 and 3. The FWI model is seen as a prosperous model for the study area since it discovered higher values for a subarea, faced to a model developed through the study area *database*, however, a study is needed to calibrate its parameters.

Keywords:Forest fire risk; Forest protection; FWI; FMA⁺; Geotechnology;RF; RIF-*Database*.

1 INTRODUÇÃO

A relação existente entre os incêndios florestais e as variáveis meteorológicas persiste enquanto objeto de investigação de pesquisadores de todo mundo, uma vez que, as variações dos dados meteorológicos podem ser observadas pela ótica temporal, espacial e temática, sendo a última, quando há a mudança de uso e cobertura da terra.

Os incêndios florestais são resultantes de uma complexa interação entre os fatores do clima, da vegetação, da topografia e socioeconômicos (BEDIA et al., 2012). A relação existente entre as variáveis meteorológicas (temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, velocidade do vento, dentre outras) e os incêndios florestais (ocorrência, propagação, área queimada, dentre outros) sempre foi objeto de pesquisa de inúmeros investigadores por todo o mundo. Segundo Viegas et al. (1999), essa busca vem desde o início da ciência do fogo.

A umidade relativa do ar, a temperatura, e/ou a precipitação, estão presente nos principais modelos de risco de incêndio, como por exemplo: Fire Weather Index, Forest Fire Danger Index, Fórmula de Monte Alegre, Fórmula de Monte Alegre Modificada, Índice de Angstron, Índice de Nesterov, e Risco de Fogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tais variáveis meteorológicas, são abordadas também com sua correlação com os incêndios, nos trabalhos realizados no Brasil por Silva (2004), Medeiros e Fiedler (2004), Nunes et al. (2006), Torres e Ribeiro (2008), Sousa et al. (2008), Tetto et al. (2010), Torres et al. (2010).

Em relação aos riscos de incêndio florestal utilizados no mundo, destaca-se o Fire Weather Index System (Sistema FWI), o qual é um componente do Canadian Forest Fire Rating System (CFFDRS) e é um produto da combinação de seis subíndices, sendo três subíndices referentes à umidade do material combustível e os três subíndices ligados ao comportamento do fogo. Os subíndices do sistema foram projetados para uma variação diária no teor de umidade em três diferentes estratos de cobertura do combustível florestal, sendo seu cálculo organizado de modo que possibilite, com o maior valor da umidade do combustível, um menor valor para o sistema FWI e, portanto, menor a inflamabilidade (VAN WAGNER, 1987).

Já no Brasil, Soares (1972) desenvolveu o primeiro índice de perigo de incêndio do País, a Fórmula de Monte Alegre (FMA). A FMA é um índice acumulativo

que utiliza como variáveis meteorológicas a umidade relativa do ar e a precipitação. A partir da compreensão da necessidade de incluir algum índice para a propagação do incêndio na estrutura da FMA, Nunes (2005) adicionou a velocidade do vento, fator de grande importância para a prevenção e principalmente para o combate aos incêndios florestais, desenvolvendo assim a Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+), a qual foi testada na região de Telêmaco Borba, Paraná, onde apresentou bons resultados.

Atualmente, na área de estudo, as empresas utilizam o risco de incêndio desenvolvido e divulgado diariamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e de acordo com Setzer e Sismanoglu (2012), o Risco de Fogo (RF) se origina a partir da hipótese que, quanto mais dias seguidos sem chuva, maior será o risco de queima da vegetação. Para o seu cálculo, são considerados, além da precipitação, os seguintes fatores: os efeitos do tipo e do ciclo natural de desfolhamento da vegetação, a temperatura máxima, a umidade relativa mínima do ar diária e a presença de fogo na área de interesse.

Com o advento da computação e avanço progressivo das tecnologias, tornou-se mais expressiva, em termos quantitativos, a utilização de modelos matemáticos para a representação dos incêndios florestais, desde modelos para a informação referente ao risco de ocorrência até modelos para prever a forma de propagação do incêndio. A existência de significativo número e variações de modelos de incêndios florestais, coloca, então, a necessidade de selecionar o modelo que melhor se adapta à uma determinada região. O que pode ser realizada de duas formas: visualmente ou por meio do confronto dos modelos existentes.

Para a área de florestas plantadas na costa norte do Espírito Santo e costa sul da Bahia, destacam-se os estudos de Santos (2004); Borges et al. (2011); Krause (2013) e Giacomini (2014). Não obstante, apesar da realização dos estudos supracitados, a relação entre os incêndios florestais e as condições meteorológicas ainda é pouco compreendido na área de estudo.

Busemeyer e Wang (2000) relatam que os modelos originados com o auxílio da tecnologia obtiveram um ganho de complexidade. Em consequência, surgiu a necessidade de se criar métodos rigorosos para sua comparação. Os autores indicam que é possível, mesmo após a comparação dos modelos, obter um modelo que é 'melhor do que outro' pelo fato de existir uma função mais flexível ou maior diversidade de parâmetros e não pelo fato de estar baseado em melhores princípios

científicos. Paixão (2015) realizou a comparação de quatro modelos de combustíveis, por intermédio de um aplicativo computacional, para uma área de 29.000ha na Serra de Portel, em Portugal. A comparação dos modelos foi baseada em análise estatística.

Portanto, a criação de novos modelos, ou calibração de modelos existentes, com vista ao melhor entendimento dos incêndios com o seu aspecto causal, natural ou não, e a seleção de um modelo de risco de incêndios florestais em cada região do globo é vital para a conservação da natureza e sua proteção. Neste sentido, compreende-se como fundamental a produção de um modelo de riscos de incêndios florestais para a região de florestas plantadas na costa centro-norte do estado do Espírito Santo e na costa sul da Bahia.

Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de risco baseado em banco de dados e avaliar, juntamente com outras três metodologias de riscos de incêndios florestais, a que melhor representa a ocorrência de incêndios florestais em áreas de florestas plantadas na costa centro-norte do estado do Espírito Santo e costa sul da Bahia.

Objetivos específicos

Calcular, especializar e avaliar os índices de risco de incêndios florestais: *Fire Weather Index* (FWI); Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+) e Risco de Fogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (RF);

Desenvolver um modelo para cálculo do risco de incêndios florestais baseado em banco de dados que melhor represente os incêndios na área de estudo; e

Escolher o melhor índice frente aos incêndios florestais catalogados pela empresa FIBRIA.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o avanço das tecnologias de informação e a circulação cada vez maior de dados, trabalhos científicos, dentre outras fontes, confiáveis ou não, torna-se cada vez mais complexo o levantamento bibliográfico sobre diversas temáticas, entre elas, a temática dos Incêndios Florestais. Diante do exposto, conforme relatado por Moreira (2004), as revisões de literatura assumem importante função, considerando, principalmente, seu aspecto 'de filtragem'. Os saltos científicos tornam-se possíveis apenas quando o pesquisador toma conhecimento todo a produção científica de ponta historicamente produzida em determinado tema, que o permite avançar.

Os trabalhos de revisão de literatura são definidos por Noronha e Ferreira (2000) como estudos que analisam a produção bibliográfica em determinada área temática, dentro de um recorte de tempo, fornecendo uma visão geral ou um relatório do estado da arte sobre um tópico específico, evidenciando novas ideias, métodos, subtemas que têm recebido maior ou menor ênfase na literatura selecionada.

Para Figueiredo (1990), a revisão de literatura possui dois papéis interligados: 1) constituem-se em parte integral do desenvolvimento da ciência: função histórica. 2) fornecem aos profissionais de qualquer área informação sobre o desenvolvimento corrente da ciência e sua literatura: função de atualização. Sendo assim, objetiva-se construir uma revisão de literatura correlacionando os focos de calor e as condições meteorológicas.

Para construir a presente revisão de literatura, foram consultadas as seguintes plataformas: Google acadêmico; *Science Direct*; Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade Federal do Espírito Santo (SIB-UFES). Estas plataformas foram escolhidas, pois, possuem um banco de dados com acervo significativo, diversidade de formatos, possibilidades de busca por relevância e por período.

Para a busca dos artigos, foram utilizados quatro descritores: 1) focos de calor AND clima, 2) focos de calor AND variáveis climáticas, 3) *hotspots wildfire* e 4) *cell fire*. O período delimitado para busca foi os anos de 2000 a 2015, nas plataformas do Google acadêmico e SIB-UFES, e o período de 2010 a 2015 na busca realizada na *Science Direct*.

Baseando-se na metodologia de investigação proposta por Caldas (1990), a qual divide a revisão de literatura em três fases: 1) levantamento bibliográfico (identificação das fontes que potencialmente irão compor a revisão); 2) leitura inspeccional (com o fim de identificar quais os textos merecem uma leitura mais atenta e profunda); 3) conclusão (relaciona e une os novos conhecimentos produzidos e identifica as áreas controversas, os temas ou subtemas que ainda carecem de investigações).

Oliveira et al. (2012) e San-Miguel-Ayanz et al. (2013) afirmam que a ocorrência de incêndios florestais é relacionada a uma junção de fatores, tais como: topografia, clima e infraestruturas (estradas, densidade populacional, uso da terra, etc.), o que pode proporcionar uma maior ou menor susceptibilidade a ocorrência.

Sabe-se que os índices de risco de incêndios florestais são sensíveis às variáveis meteorológicas, tais como: precipitação, temperatura e vento (DOWDY et al., 2010). Tais condições podem aumentar o potencial de risco de queimadas e incêndios acidentais na cobertura vegetal. Para o melhor entendimento da relação existente entre os focos de calor e as condições meteorológicas, essa revisão bibliográfica será dividida em tópicos, sendo eles: a) incêndios florestais e a temperatura; b) incêndios florestais e a umidade relativa do ar; c) incêndios florestais e a precipitação; d) incêndios florestais e a ação antrópica; e) incêndios florestais e as condições meteorológicas pelo mundo; e, f) índices de perigo de incêndios florestais, sendo eles: FWI, FMA⁺ e o RF.

2.1 Incêndios florestais e a temperatura do ar

Soares e Batista (2007) afirmam que a temperatura, tanto do material combustível como do ar atmosférico, afeta direta e indiretamente a probabilidade de ocorrência e de, principalmente, o potencial de propagação dos incêndios florestais. Quanto mais aquecido estiver o ar atmosférico e o material combustível, menor será a quantidade de calor necessária para iniciar o processo de combustão.

Beserra Neta e Silva (2004) ao estudarem sobre a influência dos elementos climáticos e a variação da ocorrência de focos de calor no estado de Roraima, concluíram que a ocorrência de focos de calor no estado aumenta no período de novembro a abril. Isto se dá devido a índices de precipitação reduzida, umidade

relativa do ar e elevação da temperatura, condições propícias à propagação de fogo de forma não controlada na cobertura vegetal.

Justino et al. (2002) descreveram sobre a relação entre os focos de calor e as condições meteorológicas no Brasil. A evolução temporal indica um comportamento sazonal entre os focos de calor e os níveis máximos de precipitação e de umidade relativa, com aproximadamente seis meses de defasagem, porém concomitantemente os dados de temperaturas máximas.

Entretanto, há estudos que indicam que a temperatura não está correlacionada diretamente com a ocorrência de focos de calor, como pode ser visto em Machado et al. (2014) e Torres et al. (2011).

Machado et al. (2014), ao avaliarem o efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-Mato Grosso, verificaram que os maiores valores de temperatura ocorreram na transição entre a estação seca e chuvosa (setembro-outubro), com maior variabilidade na estação seca, enquanto que os maiores valores de queimadas e focos de calor ocorreram no final da estação seca (agosto-setembro). Assim, não apresentou relação direta entre temperatura e focos de calor.

Torres et al. (2011) corroboram com o estudo supracitado, pois, obtiveram baixos índices de correlação entre as ocorrências de incêndios e os elementos meteorológicos. Estes autores indicaram a necessidade de incorporar mais de uma variável nos modelos preditivos.

2.2 Incêndios florestais e a precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica está direta e indiretamente correlacionada com a ocorrência ou não de incêndios florestais. A quantidade e distribuição da precipitação, segundo Soares e Batista (2007), são importantes fatores na determinação do início, duração e fim da época ou estação de maior perigo de incêndio.

Soares et al. (2008) relatam que se a precipitação pluviométrica mensal for uniforme durante todo o ano, sem estações de seca definidas, o potencial de ocorrência de incêndios florestais é menor se comparado aos locais onde existem precipitação concentrada em um período do ano e, conseqüentemente, uma estação de seca bem definida.

Coutinho et al. (2002) relatam que, na estação seca (julho a outubro) nas regiões Amazônica e Brasil Central, ocorre um número elevado de queimadas, por causas antropogênicas, em áreas de Cerrado e de Floresta Tropical.

Beserra Neta e Silva (2004) afirmam que, para o período de (maio a agosto) observa-se uma redução significativa da incidência de focos de calor no estado de Roraima, pois, nesse período, registram-se os maiores índices pluviométricos, ocorrendo um decréscimo na sua distribuição na orientação Oeste/Lestede 2.500mm para 1.500mm. Associado ao aumento da precipitação, ocorre a elevação da umidade relativa do ar, que se mantém em torno de 75%

Fiedler et al. (2006) fizeram a análise da ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), estado de Goiás, no período de 1992 a 2003, baseando-se nos mapas de focos de calor cedidos pelo INPE e os dados dos relatórios de ocorrência de incêndios na Unidade de Conservação. Constataram que a época de maior ocorrência de incêndios no PNCV encontra-se entre os meses de julho e setembro (período seco), sendo setembro o mês mais crítico, seguido do mês de agosto e julho respectivamente. Os incêndios nesse período correspondem a 64% do total das ocorrências de incêndios.

Silva e Silva (2006) realizaram um estudo sobre os problemas sociais e ambientais decorrentes da prática de queimadas na cidade de Araguaína, em Tocantins. Afirmam que os meses de agosto e setembro apresentam a maior incidência de focos de calor, fato que se deve ao período de estação seca aliado a ausência de chuvas na região.

Granemann e Carneiro (2009) produziram sua pesquisa com base no monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas do INPE para o estado do Paraná. Estes autores constataram que o período das secas apresenta o maior número de focos, com destaque para os meses de agosto e setembro, que respondem por 80,5% dos casos ocorridos em 2000, 64,3% em 2001, 53,3% em 2002, e 51,2% em 2003.

Torres et al. (2011) constataram que o número de incêndios em dias com precipitação pluviométrica inferior a 3 mm ou dias não precedidos de chuva nos últimos cinco dias, aumentou à medida que houve incremento da temperatura, da insolação e da evaporação e diminuição da umidade relativa do ar. Relatam que 96% dos incêndios ocorreram em dias em que a evaporação foi maior que a

precipitação e, quanto mais dias não se observava precipitação, maior foi o percentual de dias com pelo menos uma ocorrência.

Pereira et al. (2012) realizaram a validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas em seis unidades de conservação no norte do estado de Minas Gerais. Afirmam que, em função das características climáticas da região, onde o período de menor precipitação foi durante os meses de maio a setembro, os incêndios são recorrentes nos períodos de baixa umidade relativa do ar e baixa precipitação pluviométrica.

Segundo INPE (2015), durante o período de junho a novembro, grande parte do país é acometido por queimadas que se estendem praticamente por todas as regiões, com maior ou menor intensidade.

Caldas et al. (2014), ao analisarem os focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador, estado do Maranhão, encontraram a maior quantidade de focos nos anos de 2007 e 2012, o que apresentou relação com a diminuição da precipitação e da umidade do ar nesses anos.

Machado et al. (2014) encontraram para o período de seca (abril-setembro) 91,25% e 90,23% da média de ocorrências de queimadas (728,4) e registros de focos de calor (290,2), respectivamente, enquanto o período de chuva (outubro-março) correspondeu a 8,74% e 9,76% da média de ocorrências de queimadas (69,8) e registros de focos de calor (31,4), respectivamente

A precipitação pluviométrica pode atuar de várias formas na ocorrência, ou não, de incêndios florestais. Zumbrunnen et al. (2009), Oliveira et al. (2012) e Ganteaume e Jappiot (2013) afirmam que a ausência de precipitação, ou a precipitação abaixo da média, durante o período de secas, aumenta os riscos de incêndios calculados. Entretanto, caso haja uma precipitação maior que a média, no período que antecede a seca nas áreas de cultivo, poderá acarretar um aumento de material combustível disponível para queima, aumentando o risco.

2.3 Incêndios florestais e a umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é, isoladamente, um dos mais importantes fatores na propagação de incêndios florestais, principalmente nas regiões onde a ocorrência de incêndios é maior no inverno e na primavera, como ocorre em maior parte do Brasil (SOARES et al., 2008).

Deppe et al. (2004) descreve que, com a redução da umidade relativa do ar, a propensão dos incêndios florestais aumenta, uma vez que o ar mais seco propicia maior evapotranspiração em decorrência do aumento do déficit de pressão de vapor da atmosfera.

Nunes et al. (2005) relatam que a umidade atmosférica é elemento decisivo nos incêndios florestais, tendo efeito direto na inflamabilidade dos combustíveis florestais, havendo troca constante de umidade entre a atmosfera e os combustíveis mortos.

A baixa umidade proporciona um déficit na formação da nebulosidade, favorecendo uma maior atuação da radiação solar sobre a superfície, esta, por sua vez, eleva a temperatura do ar, ajudando também a propensão de ocorrência do fogo (TORRES, 2008).

Torres et al. (2011) ao estudarem as possíveis correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais, relatam que a umidade relativa do ar foi o elemento meteorológico que melhor se correlacionou com as ocorrências de incêndios florestais na área estudada. Os autores afirmam ainda que a temperatura do ar e a umidade relativa do ar medidas às 15h apresentaram melhor correlação com o número de incêndios do que valores médios diários desses parâmetros medidos às 13 h.

Caldas et al. (2014) afirmam que, com a diminuição da umidade relativa do ar, os focos de queimadas aumentaram. Entre janeiro e junho do ano de 2012, o número de focos foi zero, entretanto, no mês de julho, no qual se constatou um declínio de 70% para 58% na umidade relativa do ar, o número de focos elevou-se para 1.500 focos.

2.4 Incêndios florestas e a ação antrópica

O aumento do número de incêndios bem como a extensão das áreas queimadas nas áreas florestais é, em grande medida, promovida pela ação do homem que, ao promover o desmatamento, na busca de novas áreas destinadas às atividades agropecuárias, utiliza o fogo de maneira desordenada criando assim condições favoráveis para a ocorrência de grandes incêndios. Caldararo (2002)

afirma que os grandes incêndios florestais existem atualmente como uma consequência da ocupação humana.

Medeiros (2002), Medeiros e Fiedler (2004), e Fiedler et al. (2006) afirmam em seus estudos que há um maior número de ocorrência e maior área queimada nos incêndios provocados pelo homem do que provocados por causas naturais.

Justino et al. (2002) relatam que o acompanhamento diário da distribuição dos focos de calor, realizado pelo INPE e IBAMA nos últimos anos, leva a conclusão que a principal causa das queimadas e incêndios florestais é a necessidade de remoção da vegetação para os mais diversos objetivos. Estes autores revelam que focos de calor foram detectados nos estados do Paraná e São Paulo um dia após a passagem de um sistema frontal que causou precipitação pluviométrica em torno de 15mm. Dados de novos assentamentos de terra e focos de calor no centro-sul do País ilustraram como a presença humana pode se mostrar mais importante que fatores meteorológicos na explicação da variação do número de focos detectados.

FAO (2006) relata que os incêndios na região do mediterrâneo são, em grande parte, determinados pelas condições climáticas. Os verões secos, longos e com altas temperaturas reduzem o teor de umidade dos combustíveis a 5%. Por isso, até mesmo uma pequena chama, tal como um cigarro aceso, pode potencialmente conduzir a um incêndio grave.

Pereira et al. (2012) afirmam que além dos fatores climáticos, outro agravante está relacionado às questões culturais de uso da terra como, por exemplo, a prática de fogo para manejo da pastagem e preparo do solo para plantio de culturas agrícolas. Chand et al. (2006), relatam que, a cultura do povo da região central da Índia, que produz uma espécie de erva para consumo, realizam a queima com objetivo de diminuir a competição de gramíneas e serapilheira com a erva recém-plantada. Essa prática, usual no fim do verão, é um agravante para a ocorrência de novos incêndios florestais por toda a região

Fischer et al. (2012) relatam que, durante o final do inverno e início da primavera, os agricultores aumentam a utilização do fogo a fim de reduzir a biomassa. Esta prática, aliada as condições climáticas, determinaram a alta frequência de incêndios em agosto, setembro e outubro.

Em toda a região do Mediterrâneo, 30.000 a 60.000 incêndios ocorrem anualmente e, desses incêndios, estima-se que mais de 90% são de origem humana

(CAMIA et al., 2007; MARTINEZ et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012; SAN MIGUEL-AYANZ et al., 2013; FOX et al., 2015).

2.5 Incêndios florestais e as condições meteorológicas

Nos estudos de McCoy e Burn (2005) e Scholze et al. (2006) a temperatura média anual e a precipitação pluviométrica foram selecionados como as variáveis climáticas que influenciam na ocorrência de incêndios.

Chand et al. (2006), ao realizar o mapeamento dos incêndios florestais em diferentes zonas biogeográficas da Índia entre os meses de fevereiro e maio, época da ocorrência dos incêndios no Brasil, com a utilização dos dados provenientes do sistema de satélites noturno Linescan, verificaram que as altas temperaturas do início do verão, juntamente com as condições do tempo seco e baixa umidade, foram responsáveis para o elevado número de focos durante os meses de fevereiro, março e abril.

Sharples et al. (2009) relatam que as variáveis meteorológicas temperatura do ar e umidade relativa do ar atuam diretamente no teor da umidade do material combustível. Estes autores afirmam que o calor gerado pelo aumento da temperatura entra em contato com o material combustível, diminui sua umidade e, por consequência, o coloca disponível para entrar em processo de combustão.

Sharples et al. (2009) salientam que o teor de umidade do material combustível não é somente afetado pelo aumento de temperatura, mas também por vários processos físicos, como a mudança de vapor d'água presente no ar e a presença de precipitação pluviométrica.

Fischer et al. (2012) estudaram os padrões de incêndio na região semiárido da Argentina, a partir dos dados provenientes do satélite MODIS. Os autores afirmam que a estação mais afetada pelos incêndios era o final do inverno e início da primavera, período de déficit de água, causada pelo aumento da temperatura do ar.

Ortega et al. (2012) ao estudarem os efeitos do clima na ocorrência de incêndios florestais na região da Cataluña, Espanha, no período compreendido, entre os anos de 1968-2008, relatam que os fatores geográficos do clima mediterrâneo, o território montanhoso e a proximidade com zonas urbanas, agravam a atividade incendiária. Os fatores meteorológicos que estão relacionados com os focos de calor são as variáveis atmosféricas: altas temperaturas, baixas umidades

relativas, intensidade da velocidade do vento, radiação solar elevada e precipitação escassa e os dias sem chuva.

Ganteaume e Jappiot (2013) estudaram a ocorrência dos grandes incêndios florestais no Sul da França, entre os anos de 1997 e 2010. Estes autores relatam a baixa relação entre a umidade relativa do ar, entretanto, afirmam que a presença de estradas, população e o período da seca nestas regiões foram fatores determinantes para a ocorrência de incêndios.

Holsten et al. (2013) avaliaram cinco índices de risco de incêndio baseados em variáveis meteorológicas (Índice de *Baumgartner*; Índice Modificado M-68; FWI, *Nesterov* e *Angström*) e quatro variáveis meteorológicas (temperatura máxima, temperatura média, precipitação e umidade relativa), dotando-se de dados de 13 estados da Alemanha entre os anos de 1993 e 2010. Os autores destacaram o papel da umidade relativa em todo o estudo, visto que apresentou um poder preditivo comparável aos índices investigados na análise diária e um poder superior para a maioria dos estados na análise mensal, ou seja, a umidade relativa, em si, é um bom indicador das condições de ocorrência de incêndio florestais, pois, inclui indiretamente informações sobre temperatura, precipitação e processos biofísicos dos arredores.

Fox et al. (2015) estudaram, para a região Sudeste da França, os incêndios ocorridos entre os anos de 1960 e 2009, e constataram que houve um aumento progressivo anual nas temperaturas durante o verão, o que ocasionava, por consequência, a elevação do grau de risco calculado. Entretanto, o número de incêndios florestais e o tamanho da área queimada, vem diminuindo desde o fim do ano de 1980. Paradoxo que, segundo os autores, é explicado por uma mudança na estratégia de combate a incêndios, que desde então, possuem uma resposta rápida e massiva dos focos de calor na sua fase inicial.

2.6 Índices de perigo de incêndios florestais

Segundo Brown e Davis (1973), o risco de incêndio é a probabilidade de o fogo iniciar-se pela presença e/ou atividade de agentes causadores. Definição similar foi dada por Castañeda (1997), o qual considerou o risco de incêndio como sendo composto pela vulnerabilidade, a qual depende do material combustível, tipo de solo, topografia e condições climáticas, bem como pelo fator de ameaça, agentes que dariam a ignição ao sistema.

Em relação à distinção de risco de incêndio e perigo de incêndio, Soho (1999) afirma que o risco de incêndio representa a chance de um incêndio ter início, em função da existência de agentes de ignição, enquanto o perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio e pelas condições de presença de combustível, clima e topografia, ou seja, uma associação dos fatores de ignição com os que dão suporte à continuidade da queima.

Soares (1998) relata que os índices de perigo de incêndio foram introduzidos pela primeira vez no Brasil no ano de 1963, logo após a ocorrência de um incêndio florestal de grandes proporções no estado do Paraná, que atingiu cerca de dois milhões de hectares. Devido à dificuldade de obtenção de informações básicas, inclusive algumas variáveis meteorológicas, os índices sugeridos naquela oportunidade foram os de Angstron e Nesterov, que apenas requerem dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluvionétrica para seus cálculos (SOARES, 1972). Apenas no ano de 1972, Soares desenvolveu o primeiro índice de perigo de incêndios florestais para o Brasil, a Fórmula de Monte Alegre.

Atualmente, os índices disponíveis variam muito em função das variáveis que necessitam. Os mais simples utilizam diferentes variáveis meteorológicas para estimar a possibilidade de iniciar um incêndio, enquanto os mais complexos combinam um grande número de fatores a partir de modelos teóricos e ou empíricos para se ter índices de ignição e propagação (AGUADO; CAMIA, 1998). O objetivo comum de todos esses índices é conseguir, por meio de medições simples, a inflamabilidade dos combustíveis florestais diariamente (CHANDLER et al., 1983).

FIRE WEATHER INDEX - FWI

O índice meteorológico de incêndios florestais do Canadá *Fire Weather Index* (FWI) consiste numa classificação numérica do potencial da intensidade de incêndios em um determinado tipo de combustível. Este índice é composto por seis componentes baseados na dinâmica do vento e no teor de umidade do combustível. Nos três primeiros componentes, é analisado o efeito das condições meteorológicas sobre o teor de umidade dos vários tipos de combustíveis em uma camada da floresta, camada esta que corresponde ao combustível rasteiro, isto é, folhas secas, pequenos ramos, húmus, árvores de até 2 metros, vegetação herbácea (gramíneas) e serapilheira. Os três últimos componentes analisam a quantidade de umidade

acumulada e as características do comportamento do incêndio (STOCKS et al., 1989, PYNE et al., 1996, VAN WAGNER, 1987).

Os seis componentes do FWI são:

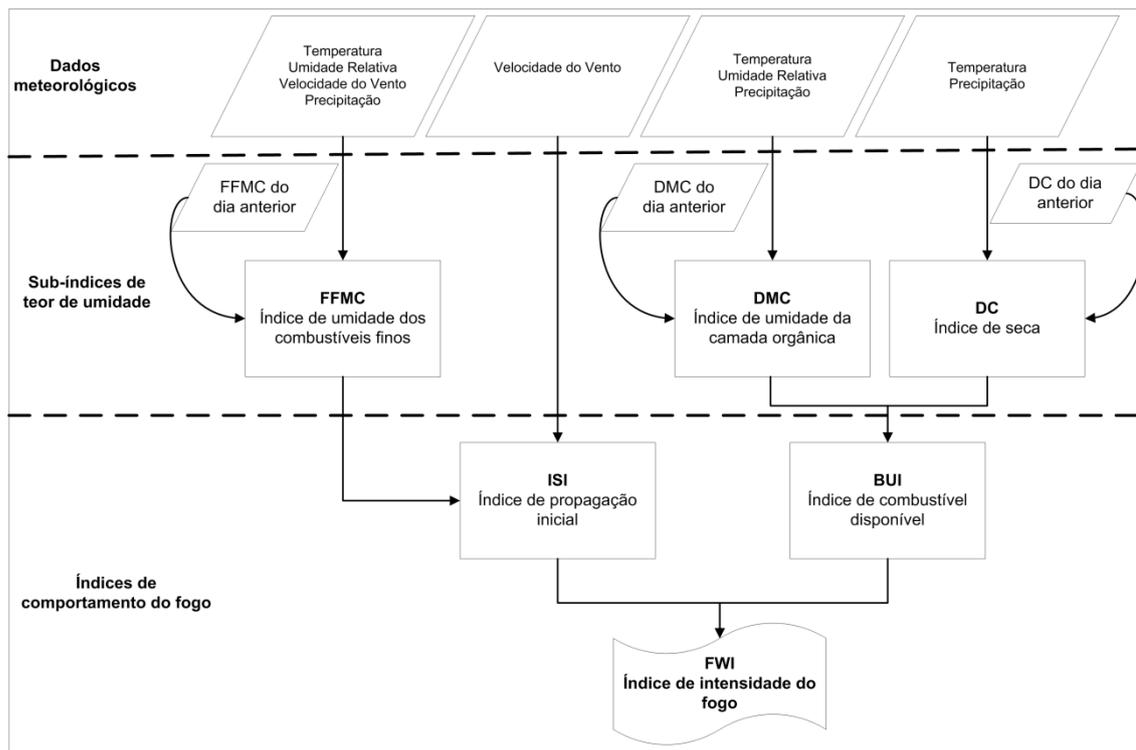
1. Quantidade de umidade do combustível fino (*Fine Fuel Moisture Code* - FFMC): descreve a classificação numérica do teor de umidade da camada orgânica e dos combustíveis finos existentes na floresta. Este parâmetro é baseado na temperatura, umidade relativa, vento e precipitação. Ele indica a facilidade de ignição;
2. Quantidade de umidade da turfa (*Duff Moisture Code* - DMC): corresponde à classificação numérica para a umidade média existente na camada orgânica abaixo da serapilheira, aproximadamente sete centímetros de profundidade;
3. Grau de secura (*Drought Code* - DC): refere-se à classificação numérica da umidade média existente nas camadas orgânicas compactas e profundas. Esta quantificação deve ser utilizada como um guia nas atividades de supressão e preparação de longo prazo, em grandes áreas. Indica incêndio em nível de solo;
4. Índice de propagação inicial (*Initial Spread Index* - ISI): refere-se à classificação numérica da velocidade de propagação do incêndio, imediatamente após a ignição, em um determinado tipo de material combustível;
5. Ajuste da quantidade de umidade da turfa (*Buid-Up Index* - BUI): refere-se à classificação numérica da quantidade de material combustível disponível para a combustão. Esta quantificação é adequada para uso como um guia nas atividades de controle e preparação de curto prazo;
6. Índice meteorológico de incêndios (*Fire Weather Index* - FWI): refere-se à classificação numérica da intensidade potencial do incêndio em um determinado tipo de combustível. Esta quantificação é um guia para as atividades diárias de preparação e supressão.

Desde sua criação, por Van Wagner (1987), diversos trabalhos utilizaram o índice, dentre os quais podem ser destacados os de: Good et al. (2008), que compararam o número observado de incêndios por dia com valores de FWI baseados nas condições climáticas observadas localmente em Toscana (Itália) e em algumas regiões da Grécia; De Groot et al. (2007), que fizeram a calibração do FWI e seus componentes para a Indonésia e Malásia e, por meio de uma combinação de perigo de incêndio histórica, análise e estudos de laboratório. Dentre os diversos métodos promissores para a calibração do FWI, tem-se a estimativa da umidade de combustível feita por Wotton e Beverly (2007). Existem também abordagens em

nível orbital, em relação ao cálculo do FWI (CHUVIECO et al. (2002); YEBRA et al. (2006); GALTIE (2006)).

A metodologia para o cálculo do FWI é a mesma utilizada por CSF (1984) e que é empregada até os dias atuais, conforme Good et al. (2008). O fluxograma metodológico contendo todas as etapas que são utilizadas na elaboração do índice canadiano de incêndios florestais FWI é apresentado na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma metodológico contendo todas as etapas que são utilizadas na elaboração do índice canadiano de incêndios florestais FWI.



Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Etapa 01 – Variáveis de entrada

As quatro variáveis meteorológicas que são utilizadas como *input* para o Sistema FWI são: chuva acumulada (ao longo das últimas 24 horas), temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (diariamente ao meio-dia).

Etapa 02: Cálculo dos subíndices de teor de umidade

As equações necessárias para o cálculo do *Fine Fuel Moisture Code* (FFMC) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equações utilizadas para o cálculo do Fine Fuel Moisture Code (FFMC)

Fórmula	Condicionante	Eq
$m_0 = 147,2(101 - F_0)/(59,5 + F_0)$		01
$r_f = r_0 - 0,5$	$r_0 > 0,5$	02
$m_r = m_0 + 42,5r_f(e^{-100/(251-m_0)})(1 - e^{-6,93/r_f})$	$m_0 \leq 150$	03a
$m_r = m_0 + 42,5r_f(e^{-100/(251-m_0)})(1 - e^{-6,93/r_f}) + 0,0015(m_0 - 150)^2 r_f^{0,5}$	$m_0 > 150$	03b
$E_d = 0,942H^{0,679} + 11e^{(H-100)/10} + 0,18(21,1 - T)(1 - e^{-0,115H})$		04
$E_w = 0,618H^{0,753} + 10e^{(H-100)/10} + 0,18(21,1 - T)(1 - e^{-0,115H})$		05
$K_0 = 0,424[1 - (H/100)^{1,7}] + 0,0694W^{0,5}[1 - (H/100)^8]$		06a
$K_d = K_0 0,581e^{0,0365T}$		06b
$K_l = 0,424 \left[1 - \left(\frac{100 - H}{100} \right)^{1,7} \right] + 0,0694W^{0,5} \left[1 - \left(\frac{100 - H}{100} \right)^8 \right]$		07a
$K_w = K_l 0,581e^{0,0365T}$		07b
$m = E_d + (m_0 - E_d)10^{-k_d}$		08
$m = E_w - (E_w - m_0)10^{-k_w}$		09
$F = 59,5(250 - m)/(147,2 + m)$		10

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

m_0 : Teor de umidade da serapilheira do dia anterior (%);

m_r : Teor de umidade da serapilheira após a chuva (%);

m : Teor de umidade da serapilheira após a secagem (%);

- E_d : Umidade de equilíbrio da serapilheira para secagem (%);
- E_w : Umidade de equilíbrio da serapilheira para molhamento (%);
- k_0 : Etapa intermediária para cálculo do k_d ;
- k_d : Taxa de secagem, FFMC, log10 m/dia;
- k_l : Etapa intermediária para cálculo do k_w ;
- k_w : Taxa de molhamento, FFMC, log10 m/dia;
- r_f : Precipitação efetiva, FFMC;
- r_0 : Precipitação em aberto, medida uma vez ao dia ao meio dia, mm;
- H : Umidade relativa ao meio dia, %;
- W : Velocidade do vento ao meio dia, km/h;
- T : Temperatura ao meio dia, °C;
- F_0 : FFMC do dia anterior; e,
- F : FFMC.

As equações necessárias para o cálculo do *Duff Moisture Code* (DMC) são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações utilizadas para o cálculo do *Duff Moisture Code* (DMC)

Fórmula	Condicionante	Eq
$r_e = 0,92r_0 - 1,27$	$r_0 > 1,5$	11
$M_0 = 20 + e^{(5,6348 - P_0 / 48,43)}$		12
$b = 100 / (0,5 + 0,3P_0)$	$P_0 \leq 33$	13a
$b = 14 - 1,3 \ln P_0$	$33 < P_0 \leq 65$	13b
$b = 6,2 \ln P_0 - 17,2$	$P_0 > 65$	13c
$M_r = M_0 + 1000r_e / (48,77 + br_e)$		14
$P_r = 244,72 - 43,43 \ln(M_r - 20)$		15
$K = 1,894(T + 1,1)(100 - H)L_e 10^{-6}$		16
$P = P_0(\text{ou } P_r) + 100K$		17

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

M_0 : Teor de umidade da camada orgânica (entre 1,2 e 7,0 cm) do dia anterior;

M_r : Teor de umidade da camada orgânica (entre 1,2 e 7,0 cm) após a chuva;
 M : Teor de umidade da camada orgânica (entre 1,2 e 7,0 cm) após secagem;
 K : Taxa de secagem para a DMC, log10M/dia;
 L_e : Comprimento do dia para a DMC, horas;
 b : Variável de inclinação do efeito da chuva para o DMC;
 r_e : Precipitação efetiva, DMC;
 P_0 : DMC do dia anterior;
 P_r : DMC após a chuva; e
 P : DMC.

As equações necessárias para o cálculo do *Drought Code* (DC) são apresentadas na Tabela 3

Tabela 3. Equações utilizadas para o cálculo do *Drought Code* (DC).

Fórmula	Condicionante	Eq
$r_d = 0,83r_0 - 1,27$	$r_0 > 2,8$	18
$Q_0 = 800e^{D_0/400}$		19
$Q_r = Q_0 + 3,937r_d$		20
$D_r = 400\ln(800/Q_r)$		21
$V = 0,36(T + 2,8) + L_f$		22
$D = D_0(ouD_r) + 0,5V$		23

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

Q : Umidade da camada orgânica (entre 7 e 18 cm), valor unitário para 0,254mm;
 Q_0 : Umidade da camada orgânica (entre 7 e 18 cm) do dia anterior,
 Q_r : Umidade da camada orgânica (entre 7 e 18 cm) após a chuva;
 V : Evapotranspiração potencial, valor unitário para 0,254mm água/dia;
 L_f : Comprimento do dia para a DC, horas;
 r_d : Precipitação efetiva, DC;
 D_0 : DC do dia anterior;
 D_r : DC após a precipitação; e
 D : DC.

Existem dois métodos de inicialização do FWI, que são dependentes da cobertura de neve. Como no estado do Espírito Santo não se tem registro de neve, o método escolhido para dar início ao FWI baseia-se nas estações que não informam a cobertura de neve significativa durante o inverno. Os valores de início serão: FFMC ajustado para 85; DMC ajustado para 2 vezes o número de dias desde a última precipitação, e; DC ajustado para 5 vezes o número de dias desde a última precipitação.

Etapa 03: Cálculo dos índices de comportamento do fogo

Dois índices intermediários de comportamento do fogo representam a taxa de propagação do fogo e a quantidade de combustível disponível.

As equações necessárias para o cálculo do *Initial Spread Index* (ISI) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Equações utilizadas para o cálculo do *Initial Spread Index* (ISI)

Fórmula	Eq
$f(W) = e^{0,05039W}$	24
$f(F) = 91,9e^{-0,1386m} [1 + m^{53,1} / (4,93 \times 10^7)]$	25
$R = 0,208f(W)f(F)$	26

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

$f(W)$: Função do vento;

$f(F)$: Função da serapilheira; e

R : ISI.

As equações necessárias para o cálculo do *Buildup Index* (BUI) são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Equações utilizadas para o cálculo do *Buildup Index* (BUI)

Fórmula	Condicionante	Eq
$U = 0,8PD / (P + 0,4D)$	$P \leq 0,4D$	27
$U = P - [1 - 0,8D / (P + 0,4D)] [0,92 + 0,0114P]^{1,7}$	$P > 0,4D$	28

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

U : BUI.

As equações necessárias para o cálculo do *Fire Weather Index* (FWI) são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Equações utilizadas para o cálculo do *Fire Weather Index* (FWI)

Fórmula	Condicionante	Eq
$f(D) = 0,626U^{0,809} + 2$	$U \leq 80$	29
$f(D) = 1000/(25 + 108,64e^{-0,023U})$	$U > 80$	30
$B = 0,1.R.f(D)$		31
$\ln S = 2,72(0,434 \ln B)^{0,647}$	$B > 1$	32
$S = B$	$B \leq 1$	33

Fonte: CFS (1984), adaptado pelo autor.

Em que,

$f(D)$: Função da camada orgânica (entre 1,2 e 7,0 cm);

B : FWI (intermediário); e

S : FWI.

FÓRMULA DE MONTE ALEGRE MOFICADA - FMA+

Soares (1974) desenvolveu o primeiro índice de perigo de incêndios do país, a Fórmula de Monte Alegre (FMA), sendo este um índice acumulativo que utiliza as variáveis: umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica.

Ao considerar necessidade de incluir na estrutura da FMA algum índice para a propagação do incêndio, Nunes (2005) adicionou a velocidade do vento, fator de grande importância para a prevenção e, principalmente, para o combate aos incêndios florestais, desenvolvendo assim a Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+), a qual foi testada na região de Telêmaco Borba, Paraná, onde apresentou bons resultados.

Nunes et al. (2006) verificaram que a eficiência da FMA+, baseada na distribuição de incêndios ocorridos nas áreas queimadas e na área queimada média

para as classes de perigo, mostrando uma relação direta entre essas variáveis e as classes de perigo, ou seja, à medida que aumenta a classe de perigo, o número de incêndios ocorridos, as áreas queimadas e a área queimada média por classe de perigo, aumentam.

Desde a sua criação, a FMA+ vem sendo utilizada por diversos pesquisadores e empresas no Brasil, sendo um dos índices mais confiáveis em território nacional. Dentre os estudos, destacam-se os de Nunes; Soares; Batista (2006); Soares e Batista (2007), White e Ribeiro (2009); Nunes et al. (2010); Borges et al. (2011); Soriano et al. (2011); Pereira et al. (2012); Souza et al. (2012), Rodríguez et al. (2012) e White et al. (2013).

Foi utilizada a FMA+ para o cálculo diário do risco de ocorrência de incêndios florestais, conforme a equação 1, concebida por Nunes (2009):

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

Em que,

FMA^+ : Fórmula de Monte Alegre Alterada;

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

n : número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm;

V : velocidade do vento em m/s, medida às 13 horas.

Sendo a FMA+ um índice acumulativo, no que se refere à umidade relativa, o mesmo está sujeito às restrições de precipitação (TABELA 1).

Tabela 1 – Restrições da FMA+, de acordo com a quantidade de chuva do dia e suas modificações em função da umidade relativa do ar (H) às 13h

chuva do dia (mm)	modificações no cálculo
< 2,4	Nenhum
2,5 a 4,9	Diminuir 30% no valor de FMA+ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Diminuir 60% no valor de FMA+ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
10 a 12,9	Diminuir 80% no valor de FMA+ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
> 12,9	Interromper o cálculo ($FMA^+=0$), iniciando no dia seguinte.

Fonte: Nunes (2005), adaptado pelo autor.

RISCO DE FOGO (RF)

De acordo com Setzer e Sismanoglu (2012), o Risco de Fogo (RF) se origina a partir da hipótese que, quanto mais dias seguidos sem chuva, maior será o risco de queima da vegetação. Para o seu cálculo, são considerados os seguintes fatores: os efeitos do tipo e do ciclo natural de desfolhamento da vegetação, a temperatura máxima do ar e a umidade relativa mínima do ar diária, e a presença de fogo na área de interesse.

O RF foi desenvolvido com base na análise da ocorrência de centenas de milhares de queimadas/incêndios nos principais biomas (tipos de vegetação) do País durante a última década de 90, em função das condições e históricos meteorológicos na região de cada evento (SETZER et al., 1992; SISMANOGLU e SETZER, 2004).

Muitos trabalhos que fazem parte da literatura acadêmica do tema utilizaram o modelo de RF para fazer comparações, estimativas, ajustes e melhorias. O trabalho de Setzer (1993) discorreu sobre o monitoramento realizado por satélites, dos incêndios florestais no Brasil. França e Setzer (1999) estudaram os incêndios ocorridos no Parque Nacional das Emas entre os anos de 1992 e 1993, e concluíram que a utilização do *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), com os produtos dos canais 2 e 3, são eficientes para o monitoramento e avaliação da extensão da vegetação queimada.

Morissette et al. (2005) avaliaram as características de dois algoritmos de detecção de incêndio, sendo um destes desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e o outro pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estudos para o aprimoramento do modelo desenvolvido são constantes, dentre os quais se destaca o de Libonati et al. (2011), que ajustou um novo sistema de coordenadas para adequação das áreas de vegetação e das áreas queimadas.

Para a obtenção do valor final do RF são necessárias a realização de oito etapas de cálculos, sendo elas: a) determinação da área geográfica de abrangência; b) cálculo dos fatores de precipitação; c) cálculo dos dias de seca; d) determinação do risco de fogo básico; e) ajuste em relação à umidade; f) ajuste em relação à temperatura; g) cálculo do risco observado; h) risco de fogo

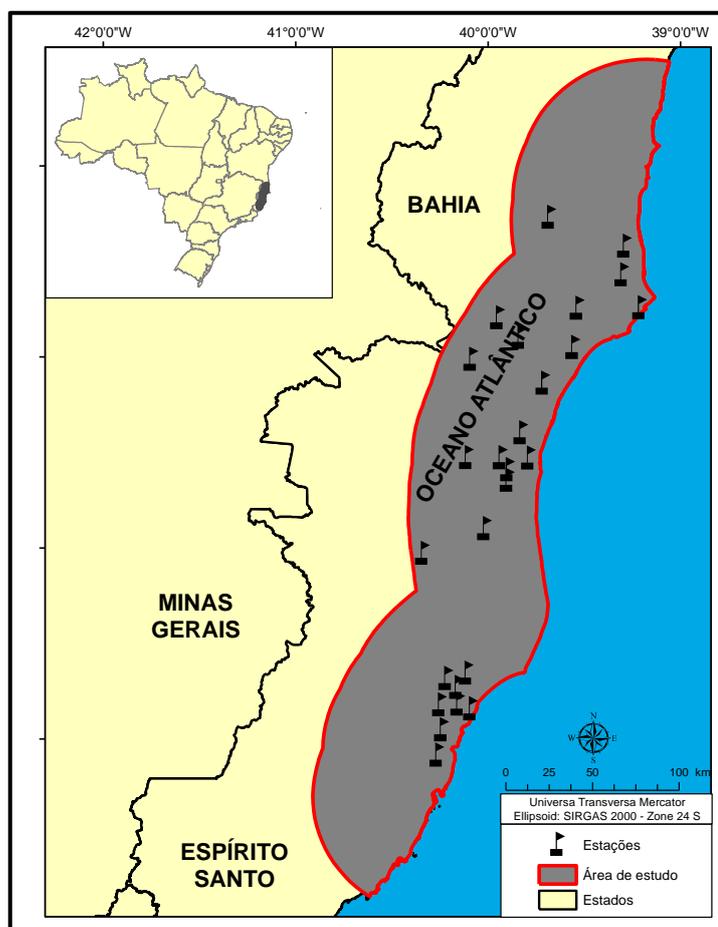
3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente material e métodos será dividido em oito etapas, abordando inicialmente a área de estudo, a identificação do clima da região, como os incêndios florestais ocorrem, o cálculo dos índices de risco de fogo, o desenvolvimento de um risco baseado em banco de dados e por fim, o confronto e escolha do índice de perigo de incêndios florestais que melhor represente a área de estudo dentro do período analisado.

3.1 Área de estudo e preparo da base de dados

A área de estudo corresponde a costa centro-norte do estado do Espírito Santo e costa sul da Bahia, adentrando-se 70 km ao continente, entre as coordenadas localizado entre as latitudes de $16^{\circ} 26' 57'' S$ e $20^{\circ} 49' 27'' S$; e longitudes de $39^{\circ} 07' 13'' W$ e $40^{\circ} 55' 09'' W$ (Figura 1). A faixa de 70 km foi definida por meio da análise dos locais de maior incidência dos incêndios florestais na região.

Figura 1 – Delimitação da área de estudo.



Fonte: o autor.

Os dados das variáveis meteorológicas foram adquiridos junto a empresa FIBRIA Celulose S. A., a qual possui acesso ao banco de dados de uma rede com 32 estações meteorológicas automáticas. Destas, foram utilizadas 26 estações sendo que as demais foram excluídas devido à proximidade entre elas (02 estações) ou ausência de dados de alguns elementos meteorológicos (04 estações). Os dados foram coletados em escala horária durante o período compreendido entre 01/01/2010 e 31/06/2015, nas 26 estações meteorológicas distribuídas pela costa centro-norte do estado do Espírito Santo e costa extremo sul da Bahia.

A fase de preparação dos dados teve início com a construção de uma planilha eletrônica composta por 26 colunas, condizentes às estações meteorológicas, e 144.504 linhas, relacionadas as variáveis meteorológicas medidas pelas estações. Com dados em escala horária, foram preparados outros dois bancos de dados, com valores das variáveis em escala diária e em escala mensal.

3.2 Classificação climática empírica por meio da análise de agrupamento hierárquico: Aplicação em incêndios florestais

A análise de agrupamento foi realizada a nível mensal, visto que, há uma variabilidade muito alta de algumas variáveis meteorológicas quando analisadas em escala horária ou diária. Devido a utilização de variáveis com diferentes ordens de grandeza, média da temperatura do ar mensal ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluviométrica média mensal (mm), média da umidade relativa mensal (%) e, deficiência hídrica média mensal (mm), realizou-se a padronização dos dados, o que consiste na subtração do dado pela média e posterior divisão pelo desvio padrão. Salienta-se que a escolha das quatro variáveis supracitadas está diretamente correlacionada com as diferentes metodologias de riscos de incêndio, pois, são as variáveis mais utilizadas para o cálculo de risco.

Foram utilizados dados normailizados de temperatura média mensal e de precipitação média mensal, pertencentes às estações meteorológicas presentes na área de estudo. Esses dados foram utilizados na elaboração do balanço hídrico climatológico, empregando-se o método de Thornthwaite e Mather (1955), através do programa "BHnorm" elaborado por Rolim et al. (1998). Para a capacidade de água disponível (CAD) utilizou-se o valor de 100mm e a evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). O balanço hídrico fornece

as estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM) para cada mês do ano.

A análise de agrupamento foi realizada por meio do método de *Ward*. Este método baseia-se na formação de grupos, minimizando a dissimilaridade ou minimizando o total das somas de quadrados dentro de grupos, também conhecida como soma de quadrados dos desvios (SQD). Ferreira (2011) descreve que, em cada etapa do procedimento, são formados grupos, de tal maneira que a solução resultante tenha o menor SQD dentro de grupos. Nessas etapas, são consideradas as uniões de todos os possíveis pares de grupos e, os dois que resultam em menor aumento de SQD são agrupados até que todos os grupos formem um único, reunindo todos os indivíduos.

Utilizou-se como entrada os dados padronizados da precipitação pluviométrica média mensal, temperatura do ar média mensal, umidade relativa média mensal, e, deficiência hídrica média mensal. Para a aplicação do método, utilizou-se o aplicativo computacional IBM SPSS Statistics 22. O qual, produz como resultados, o dendrograma para o agrupamento.

A validação do agrupamento foi realizada por meio da utilização do Coeficiente de Correlação Cofenética (CCC), proposto por Sokal e Rohlf (1962). O CCC mede o grau de preservação das distâncias emparelhadas pelo dendrograma resultante do agrupamento em relação às distâncias originais (SNEATH e SOKAL, 1973, apud, FERREIRA, 2011). O CCC possui variação entre 0 e 1, sendo que a extremidade superior da escala representará a semelhança máxima, ou seja, menor a distorção causada pelo agrupamento. Sokal e Rohlf (1962), sugerem que valores de CCC superiores a 0,8, apresentam adequação quanto ao agrupamento das variáveis analisadas.

A área de abrangência de cada estação foi definida por meio das técnicas de polígono de Thiessen, o qual atribui um valor de ponderação proporcional a área de influência (BERTONI; TUCCI, 2001). Brebbia (2012) utilizou a técnica dos polígonos de Thiessen para representar a área coberta por cada estação meteorológica. Dotou-se do aplicativo computacional ArcGIS 10.2, para se espacializar as áreas de abrangência de cada estação presente na área de estudo. O agrupamento das estações, foi realizado por intermédio da união das áreas de abrangência das estações que apresentaram o mesmo clima.

3.3 Estatística dos incêndios florestais nas áreas de florestas plantadas

Os dados referentes ao número de incêndios florestais foram adquiridos junto a empresa FIBRIA Celulose S. A. durante o período compreendido entre 01/01/2010 e 31/06/2015. A base de dados possui diversas informações sobre os incêndios ocorridos na região, tais como: localização geográfica, data de ocorrência, área queimada, horário da ocorrência. Realizou-se uma análise para remover informações duplicadas dentro do banco de dados, a qual baseou-se na busca de localização geográfica idênticas em uma mesma data de ocorrência, sendo possível assim, eliminar as falhas.

Com a base de dados ajustada, realizou-se a plotagem dos pontos das ocorrências de incêndios florestais em ambiente do Sistemas de Informações Geográficas (SIG) dotando-se do aplicativo computacional ArcGIS 10.3. Vale salientar que, conforme apontado por Duguay (2003) a análise espacial da área queimada por cada incêndio florestal é fundamental para o entendimento da ecologia do fogo, por meio da análise do intervalo médio entre incêndios em um mesmo ponto, entretanto, a base de dados não possui tal informação espacial. Em relação a área de cada incêndio, a base de dados apresenta apenas uma estimativa do tamanho da área queimada e um par de coordenadas do ponto de ocorrência, sendo, portanto, inviável, em primeiro momento, a análise com o banco de dados do presente estudo.

A análise do regime de incêndios florestais na área de estudo foi dividida em três importantes aspectos: temporal, espacial e causal. A análise estatística do período de retorno, foi realizada dotando-se do aplicativo computacional *IBM SPSS Statistics 22*. A análise bivariável foi realizada pelo coeficiente de *Pearson* e sua interpretação baseada em Cohen (1988), o qual determina como sendo baixa correlação valores entre 0,1 e 0,29, média entre 0,3 e 0,49 e alta entre 0,5 e 1,0. A análise da correlação cruzada entre os incêndios florestais (área mensal queimada e número mensal de incêndios) foi relacionado às condições climáticas do ano usando os dados climáticos regionais (média de dados para a área de estudo), definiu-se como período de retorno 6 meses, uma vez que a base de dados é de apenas 5 anos.

Aspecto temporal

Os dados das ocorrências de incêndios florestais e de área queimada, que estavam dentro de cada subzona de estudo (Capítulo 1), foram somados conforme o mês de ocorrência, afim de que se pudesse realizar uma identificação da época de ocorrência. Após a soma, realizou-se o cálculo da média e dos desvios, pois, os meses de julho e agosto, não possuíam 5 anos completos.

Para verificar o agrupamento ou não do número de ocorrências pelos meses, utilizou-se o algoritmo denominado *cluster* hierárquico, com predefinição de dois *clusters*, visando indicar se o mês está ou não presente na época de ocorrência de incêndios florestais. Este estudo foi realizado no aplicativo computacional *IBM SPSS Statistics 22*.

Buscou-se também entender o comportamento dos incêndios florestais dentro da ótica diária, a fim de verificar qual o dia que apresenta uma maior incidência, para isso, realizou-se o agrupamento das ocorrências por meio dos dias da semana.

A fim de buscar um melhor entendimento sobre o horário de maior incidência de ocorrência de incêndios florestais, realizou-se o agrupamento das ocorrências por meio da sua distribuição horária.

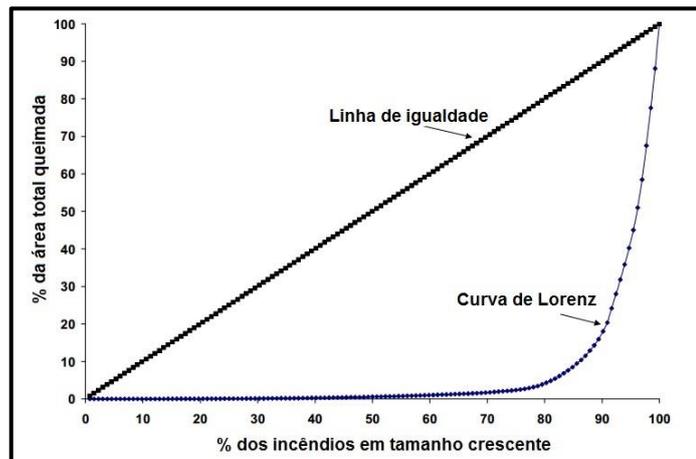
Aspecto espacial

Os dados de áreas queimadas foram agrupados de acordo com as 5 classes propostas por Ramsey e Higgins (1981), em cinco classes de tamanho, sendo elas: I) até 0,1ha, II) de 0,1 a 4,0ha, III) de 4,1 a 40,0ha, IV) de 40,1 a 200,0ha, e V) mais de 200,0ha.

Outra maneira de entender a relação entre a área queimada e o número de ocorrência é por meio da curva de Lorenz (DÍAZ-DELGADO, 2000; DUGUY, 2003).

A curva de Lorenz, segundo Duguy (2003) representa a porcentagem da área total queimada em função do número de fogos, em função crescente, mostrando assim o grau de concentração da área queimada. (Figura 2).

Figura 2 – Curva de Lorenz e linha de igualdade.



Fonte: Duguay (2003), adaptado pelo autor.

Para a busca espacial objetivou analisar os fatores físicos do local (altitude, declividade, orientação do terreno, proximidade às estradas e proximidade às áreas urbanas) em relação aos pontos de ocorrência dos incêndios florestais. Os fatores físicos estão presentes em diversos riscos de incêndios, como pode ser observado nos trabalhos de Oliveira (2002), Santos et al. (2010), Eugenio et al. (2016), por isso, o entendimento do mesmo é parte vital para analisar o perfil de ocorrência dos incêndios florestais na área de estudo.

Para a análise da altitude, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), que conforme constatado por Ferrari (2012), representa melhor as altitudes do relevo, revelando maior correlação com as altitudes medidas no campo e menor erro médio quadrático. Este MDE é constituído por um grid de células com resolução espacial de 30 m e disponibilizado pelo servidor de FTP do *United States Geological Survey* (USGS). Esse modelo é disponibilizado no formato *GeoTiff*, possibilitando o uso direto na modelagem do terreno, sendo georreferenciado ao Datum WGS 84, em coordenadas geográficas decimais, e referenciados à ondulação geoidal EGM96. De posse do MDE da área de estudo, realizou-se a abstração dos valores de altitude para os pontos de ocorrência de incêndio.

Com o MDE, elaborou-se o mapa matricial de declividade da área de estudo utilizando a função *slope*, disponível no aplicativo computacional ArcGIS 10.3. A função *slope*, calcula a taxa máxima de mudança de valor de uma célula para seus

vizinhos. O valor da inclinação deste plano foi calculado utilizando a técnica de média máxima. Com o mapa matricial da declividade, foi realizado a abstração dos dados nos pontos de ocorrência de incêndio.

A exposição, ou direção do lado da montanha em relação aos pontos cardeais, apresenta também um efeito direto na possibilidade de ocorrência de um incêndio. No Hemisfério Sul, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte e, conseqüentemente, transmitem mais calor para essa exposição do que para qualquer outra. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida do leste e, finalmente, a que menos se aquece é a sul (SOARES & BATISTA, 2007).

A orientação do terreno foi calculada utilizando-se o MDE e a grade de exposição do terreno foi reclassificada em oito classes (SANTOS, 2010), a saber: N – NE ($0^{\circ} - 45^{\circ}$); NE – E ($45^{\circ} - 90^{\circ}$); E – SE ($90^{\circ} - 135^{\circ}$); SE – S ($135^{\circ} - 180^{\circ}$); S – SW ($180^{\circ} - 225^{\circ}$); SW – W ($225^{\circ} - 270^{\circ}$); W – NW ($270^{\circ} - 315^{\circ}$); NW – N ($315^{\circ} - 360^{\circ}$).

Para a análise da proximidade das estradas e das áreas urbanas, foi utilizada a malha rodoviária, disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do estado do Espírito Santo (GEOBASES). Para a feição do mapa de influência da malha rodoviária, foi utilizada a técnica de distância euclidiana, a qual calcula a menor distância entre o centro da célula de origem e as células circuncidantes.

Conceitualmente, o algoritmo de Euclides funciona da seguinte forma: para cada célula, a distância da célula de origem, é determinada pelo cálculo da hipotenusa formada entre o centro da célula de origem e a célula vizinha, com suas variações no eixo X e Y. Este cálculo deriva a verdadeira distância euclidiana, em vez da distância da célula (ESRI, 2016). Após o processamento inicial das distâncias, realizou-se a quantificação da distância, delimitadas pelos mapas matriciais de estradas e as áreas urbanas, e os pontos de ocorrência dos incêndios.

Aspecto causal

Devido à base de dados não apresentar a provável causa de cada incêndio na área de estudo. Buscou-se o entendimento entre a presença do homem e os incêndios florestais de duas maneiras: os fatores físicos presentes na área de estudo e uma pesquisa documental em acervo jornalístico.

A segunda etapa da busca pelo aspecto causal foi a realização da pesquisa documental no centro de Documentação (CEDOC) da rede A Gazeta, em exemplares impressos dos jornais A Gazeta e Notícia Agora durante o período compreendido entre os anos de 1988 e 2015. Foram utilizados três descritores: 1) incêndios florestais, 2) incêndio florestal, e 3) incêndio, visando analisar as principais causas de incêndios catalogadas e divulgadas pela mídia em todo o estado do Espírito Santo, que abrange a maior parte da área de estudo.

3.4 Aplicação e ajuste do *Fire Weather Index* (FWI) em áreas de florestas plantadas

Para o melhor entendimento desta aplicação e ajuste, dividiu-se em seis etapas, sendo: Etapa 1 – Cálculo do risco; Etapa 2 – Criação de planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais; Etapa 3 – Criação de planilhas de acordo com a época de incêndios florestais da região de estudo; Etapa 4 – Definição das classes de risco; Etapa 5 – Análise dos resultados das classes encontradas; e, Etapa 6 – Seleção do melhor ajuste.

Etapa 1 – Cálculo do risco

Para cada estação presentes na área de estudo, independente da sua localização geográfica, foi realizado o cálculo do FWI por intermédio de um suplemento de Excel®, disponibilizado pelo Serviço Florestal Canadense¹, entre as datas 01/01/2010 e 31/06/2015, utilizando os valores de partida recomendados pelo Serviço Florestal Canadense.

Salienta-se que, a base de ocorrência dos incêndios florestais se inicia em 01/09/2010. Portanto, foi analisado o período do FWI calculado entre as datas 01/09/2010 e 31/06/2015, de modo a não provocar a interferência dos valores de partida nas análises.

Etapa 2 – Criação de planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais

¹Cedido à investigação conduzida pela Dr^a Beatriz Duguay Pedra para o projeto europeu FUME (Forest fires under climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world - GA 243888) http://cordis.europa.eu/result/rcn/90753_es.html

Cada estação possui uma área de abrangência e, conseqüentemente, é possível ter o conhecimento das datas em que houve um incêndio florestal dentro dessa área. A partir da base de dados de cada estação foi realizada a separação dos dias com e sem incêndios florestais, a fim de se obter duas novas planilhas para cada estação, sendo uma com os valores de FWI dos dias com e outra dos dias sem a ocorrência dos incêndios florestais.

Etapa 3 – Criação de planilhas de acordo com a época de incêndios florestais da região de estudo

A definição dos limites de cada classe está condicionada aos valores mais altos de FWI, sendo que esses foram encontrados na época de ocorrência dos incêndios florestais, salvo exceções.

Conforme pode ser visualizado nos Capítulos 1 e 2, a área de estudo foi dividida em três subzonas (1, 2 e 3). Cada subzona foi analisada considerando suas épocas de ocorrência de incêndios florestais distintas, sendo elas: para a subzona 1 (época 1: dezembro a março, e época 2: agosto a outubro), para a subzona 2 (época 1: janeiro a março, e época 2: agosto a outubro) e para a subzona 3 (época 1: janeiro e fevereiro, e época 2: agosto a outubro)

Dotando-se das planilhas geradas na etapa 2, realizou-se a separação também pelas épocas de ocorrências, a fim de que se pudesse realizar o cálculo da porcentagem de acerto e do teste de *skill score*. As planilhas ficaram dispostas da seguinte maneira:

- a) *Planilha 1*: subzona 1 +dias da época 1 COM incêndios+ dias da época 1 SEM incêndios;
- b) *Planilha 2*: subzona 1 +dias da época 2 COM incêndios+ dias da época 2 SEM incêndios;
- c) *Planilha 3*: subzona 1 +total de dias COM incêndios+ total de dias SEM incêndios;
- d) *Planilha 4*: subzona 2 +dias da época 1 COM incêndios + dias da época 1 SEM incêndios;
- e) *Planilha 5*: subzona 2 +dias da época 2 COM incêndios + dias da época 2 SEM incêndios;
- f) *Planilha 6*: subzona 2 + total de dias COM incêndios + total de dias SEM incêndios;

- g) *Planilha 7*: subzona 3+dias da época 1 COM incêndios + dias da época 1 SEM incêndios;
- h) *Planilha 8*: subzona 3+dias da época 2 COM incêndios + dias da época 2 SEM incêndios;
- i) *Planilha 9*: subzona 3+ total de dias COM incêndios + total de dias SEM incêndios;

Etapa 4 – Definição das classes de risco

A primeira classe utilizada foi concebida pelo criador do modelo VanWagner (1987), sendo: baixa: 0-1; moderada: 1-6; alta: 6-13 e extrema: >13.

Para as demais classes, definiu-se que seriam concebidas cinco classes de risco, sendo elas: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema. A predefinição baseou-se na percepção do costume das pessoas locais, as quais, interpretam os riscos existentes, utilizando-se de modelos que fornecem cinco classes de risco.

Com o número predefinido de classes, iniciou-se a etapa de definição dos limites das classes do sistema FWI, para as subzonas do presente estudo foram realizados dois tipos de análises, sendo elas: a definição por percentis e a regressão logística.

A análise baseada na definição de percentil consiste na obtenção dos valores de FWI nos percentis 20, 40, 60, 80 e 90 dos dias que ocorreram incêndios florestais. Os valores de classes derivado da análise de percentis foram descritos pelos identificadores (id.) apresentados com as letras: A, C, E, G, I, K, M, O e Q.

A definição das classes por meio da regressão logística foi realizada com base no modelo de regressão descrito por Hosmer e Lemeshow (2000), conforme apresentado na Equação 1:

$$P(y_1 = 1) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}} \quad (1)$$

Em que,

$$g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i$$

$P(y_1 = 1)$: probabilidade de ocorrência de incêndio florestal;

x_i : variável independente (valor de FWI); e,

β_i : coeficientes estimados pelo método de máxima verossimilhança.

Foram utilizados os seguintes valores de probabilidade para determinação das classes de risco, 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 0,90. Os valores de classes derivado da regressão logística foram descritos pelos id's apresentados com as letras: B, D, F, H, J, L, N, P e R.

Etapa 5 – Análise dos resultados das classes encontradas

Após a realização dos cálculos e determinação dos valores para cada classe, obteve-se o comportamento do risco de incêndio para a área de estudo, para as diferentes metodologias. Para analisar o comportamento do risco baseado no valor de FWI nas diferentes classes, foi realizado um cruzamento do risco calculado e as datas que ocorreram ou não incêndio florestal. Utilizou-se os métodos *Skill Score* (SS) e Porcentagem de Sucesso (PS), conforme empregado nos trabalhos de Sampaio (1999), Nunes (2005), Nunes et al. (2006), Borges (2011) e Dimitrakoupolos et al. (2011).

O cruzamento de risco forneceu a estimativa de acerto de cada risco calculado, uma vez que se baseia na razão da diferença entre os acertos na previsão e o número esperado de acertos, bem como a diferença entre o número de dias observado e o número de dias com previsão de acertos (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Tabela de contingência

evento	incêndios		total previsto
	observados	não observados	
incêndio previsto	a	b	$N_2 = a + b$
incêndio não previsto	c	d	$N_4 = c + d$
total observado	$N_1 = a + c$	$N_3 = b + d$	$N = a+b+c+d$

Fonte: Sampaio (2009), adaptado pelo autor.

Tabela 2 – Cálculos da tabela de contingência

evento	incêndios		total previsto
	observados	não observados	
incêndio previsto	$a / (a+c)$	$b / (b+d)$	
incêndio não previsto	$c / (a+c)$	$d / (b+d)$	
total observado	1	1	2

Fonte: Sampaio (2009), adaptado pelo autor.

As equações para a realização dos cálculos foram:

$$N = a + b + c + d \quad (2)$$

Em que,

N : número total de observações;

a : número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas;

b : número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas;

c : número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas;

d : número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas.

$$G_a = a + d \quad (3)$$

Em que,

G_a : número de acertos na previsão.

$$H_a = N(1 - p)(1 - q) + Npq \quad (4)$$

Em que,

H_a : número esperado de acertos;

$p = N_1 / N$: número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas;

$q = N_2 / N$: número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas.

N_1

: número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas mais número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas;

N_2

: número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas mais número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas;

N_3 :

número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas mais número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas;

N_4 : número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas

mais número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas;

p :

número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas mais número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas, dividido pelo número total de observações; e,

q :

número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas mais número de dias com

omocorrências de incêndios previstas e não observadas, divididas pelo número total de observações.

$$SS = (G_a - H_a) / (N - H_a) \quad (5)$$

Em que,

SS : *skill score*.

$$PS = (G_a / N) 100 \quad (6)$$

Em que,

PS : porcentagem de sucesso.

Etapa 6 – Seleção da classe

A seleção da classe é uma etapa crucial para a correta utilização de um índice de risco. A primeira seleção é feita de acordo com as classes originais do modelo. Caso os valores das porcentagens de sucesso e *skill score* não estejam de acordo com o esperado pelo pesquisador, o mesmo poderá escolher dentre as outras classes testadas nos id's de A à L.

Os métodos empregados no presente estudo consistiram na validação e escolha dos resultados apresentados pelas porcentagens de sucesso e do valor de *skill score*, para cada subzona. Inicialmente, realizou-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo que os mesmos foram normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100.

Após a normalização dos valores, realizou-se o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk, a fim de que se possa saber se a amostra é ou não proveniente de uma distribuição normal. Sendo que, H_0 : A amostra provém de uma distribuição normal e, H_1 : A amostra não provém de uma distribuição normal.

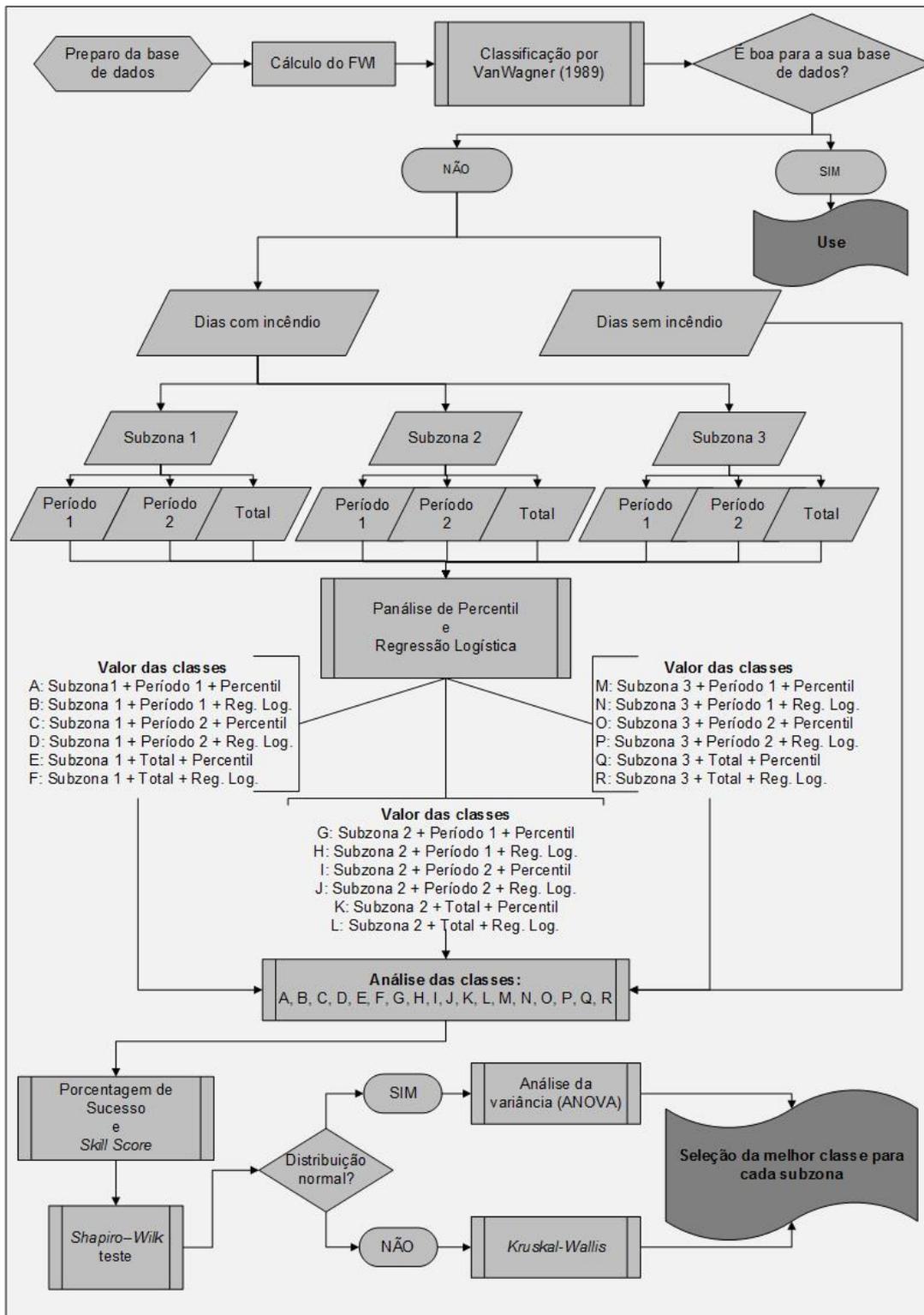
Caso a amostra seja advinda de uma distribuição normal, realizou-se o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações. Se o teste F, for significativo, se realiza o teste *posthoc* de Tukey-Kramer (nível de significância =

0,05), para comparar todos os id's entre si. Sendo que, o maior valor de média será o id. escolhido.

Por outro lado, caso a amostra não apresentava uma distribuição normal, utilizou-se o teste de análise de variância não paramétrico de Kruskal-Wallis, sendo que a hipótese nula é a igualdade entre as categorias, id's, em cada subzona, ao nível de significância igual a 0,05 e 95% de intervalo de confiança.

Essa metodologia tenta solucionar uma difícil situação vivenciada nas áreas de florestas plantadas na costa centro-norte do Espírito Santo e costa sul da Bahia, uma vez que, nessa região há cerca de 92% dos dias sem a ocorrência de incêndios florestais e apenas 8% dos dias com incêndios florestais. Somado a esse fator, têm-se que, conforme relatado no Capítulo 1, a área possui um histórico de incêndios criminosos, diminuindo assim, a relação existente entre as variáveis e sua resposta no modelo. Todas as seis etapas para realizar a presente metodologia estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das seis etapas necessárias para a realização da metodologia.



Fonte: o autor.

3.5 Aplicação e ajuste da Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺) em áreas de florestas plantadas

Para o melhor entendimento desta aplicação e ajuste, dividiu-se em seis etapas, sendo: Etapa 1 – Cálculo do risco; Etapa 2 – Criação de novas planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais; Etapa 3 – Criação de novas planilhas de acordo com a época de incêndios florestais da região de estudo; Etapa 4 – Definição das classes de risco; Etapa 5 – Análise dos resultados das classes encontradas; e, Etapa 6 – Seleção do melhor ajuste. Ressalta-se que não será descrita as Etapas de 2 a 6, uma vez que esta foi descrita no item anterior (item 3.4).

Etapa 1 – Cálculo do risco

Foi utilizada a FMA⁺ para o cálculo diário do risco de ocorrência de incêndios florestais, conforme a equação 1, concebida por Nunes (2009):

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

Em que,

FMA⁺: Fórmula de Monte Alegre Alterada;

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

n: número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm;

V: velocidade do vento em m/s, medida às 13 horas.

Sendo a FMA⁺ um índice acumulativo, no que se refere à umidade relativa, o mesmo está sujeito às restrições de precipitação (TABELA 1).

Tabela 1 – Restrições da FMA⁺, de acordo com a quantidade de chuva do dia e suas modificações em função da umidade relativa do ar (H) às 13h

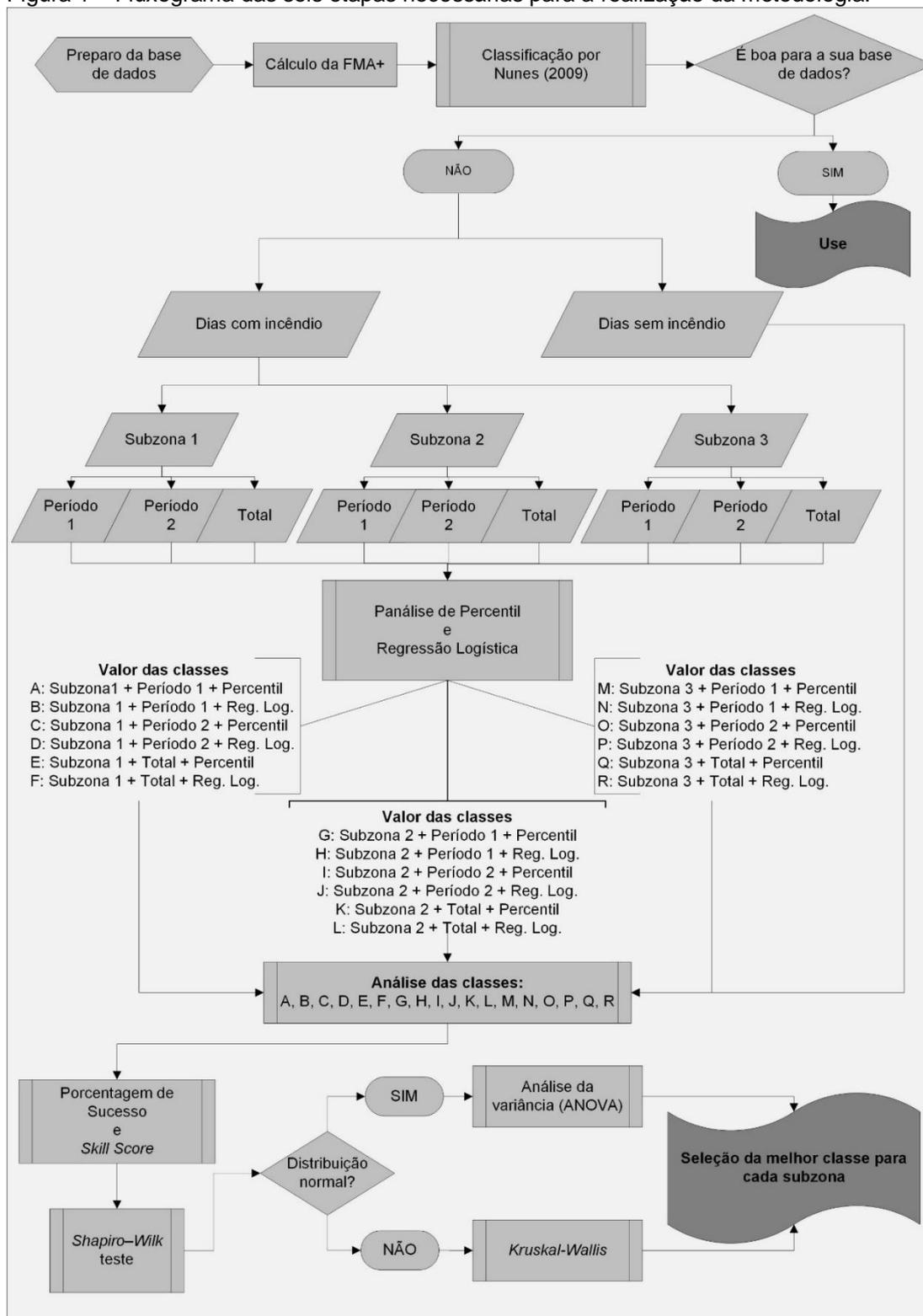
chuva do dia (mm)	modificações no cálculo
< 2,4	Nenhum
2,5 a 4,9	Diminuir 30% no valor de FMA ⁺ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Diminuir 60% no valor de FMA ⁺ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
10 a 12,9	Diminuir 80% no valor de FMA ⁺ calculado na véspera e somar (100/H) do dia
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA ⁺ =0), iniciando no dia seguinte.

Fonte: Nunes (2005), adaptado pelo autor.

A fim de se automatizar todo o processo de cálculo da FMA+, criou-se um sistema para a realização da metodologia, o mesmo está descrito no APÊNDICE 1.

A primeira metodologia de classe utilizada é a que foi concebida pelo criador do modelo (NUNES,2005), sendo elas: Nulo: $\leq 3,0$; Pequeno: 3,1-8,0; Médio: 8,1-14,0; Alto: 14,1-24,0 e Muito Alto: $\geq 24,0$.

Figura 1 – Fluxograma das seis etapas necessárias para a realização da metodologia.



Fonte: o autor.

3.6 Aplicação e análise do Risco de Fogo (RF) nas áreas de florestas plantadas

Para a obtenção do valor final do RF são necessárias a realização de oito etapas de cálculos, sendo elas: a) determinação da precipitação na área geográfica de abrangência; b) cálculo dos fatores de precipitação; c) cálculo dos dias de secura; d) determinação do risco de fogo básico; e) ajuste em relação à umidade; f) ajuste em relação à temperatura; g) cálculo do risco observado; h) risco de fogo

a) Determinação da precipitação na área geográfica de abrangência

Determinou-se, diariamente, para a área geográfica de abrangência, o valor da precipitação (mm), acumulada para onze períodos imediatamente anteriores, de 1; 2; 3; 4; 5; 6 a 10; 11 a 15; 16 a 30; 31 a 60; 61 a 90 e 91 a 120 dias.

Conforme ressaltado por Sismanoglu e Setzer (2014), a precipitação é a componente de maior peso do risco de fogo, a mesma é obtida na resolução de 25 km a partir das estimativas de precipitação do “CoSch/Merge” geradas pela DSA/CPTEC, as quais combinam dados observacionais das estações de superfície com as medidas em micro-ondas dos satélites Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM (VILA et al., 2008).

b) Cálculo dos fatores de precipitação

O cálculo dos fatores de precipitação (fp) é realizado para cada um dos onze períodos, conforme demonstrado nas equações contidas no Quadro 1, as quais são provenientes de uma função exponencial empírica da precipitação específica para cada um dos períodos. Conforme relatado por Setzer e Sismanoglu (2012), os fatores possuem uma função dupla no risco de fogo, a primeira seria reduzir o risco quando se têm maiores volumes de chuva em eventos específicos, e a segunda seria diminuir o efeito das precipitações passadas. As equações estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Equações para o cálculo do fator de precipitação.

$fp1 = e^{-0,14*prec}$	$fp2 = e^{-0,07*prec}$	$fp3 = e^{-0,04*prec}$
$fp4 = e^{-0,03*prec}$	$fp5 = e^{-0,02*prec}$	$fp6\grave{a}10 = e^{-0,01*prec}$
$fp11\grave{a}15 = e^{-0,008*prec}$	$fp16\grave{a}30 = e^{-0,004*prec}$	$fp31\grave{a}60 = e^{-0,002*prec}$
$fp61\grave{a}90 = e^{-0,001*prec}$	$fp91\grave{a}120 = e^{-0,0007*prec}$	

Fonte: Setzer e Sismanoglu (2012), adaptado pelo autor.

c) *Cálculo dos dias de secura*

O cálculo dos dias de secura (*PSE*), é realizado para se obter um valor hipotético dos dias seguidos sem precipitação a fim de se caracterizar o estado da vegetação. Sua equação está representada abaixo:

$$PSE = 105 * fp1 * fp2 * fp3 * fp4 * fp5 * fp6\grave{a}10 * fp11\grave{a}15 * fp16\grave{a}30 * fp31\grave{a}60 * fp61\grave{a}90 * fp91\grave{a}120(1)$$

d) *Determinação do risco de fogo básico*

Determinar o risco de fogo "básico" para cada um dos sete tipos de vegetação considerada, por meio da equação:

$$Rb_{n=1,7} = \frac{0,9 * [1 + \sin(A_{n=1,7} * PSE)]}{2} (2)$$

O mapa de tipos de vegetação foi adaptado do produto anual do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP), gerado pela NASA a partir dos mosaicos MODIS MCD12Q1 do satélite AQUA (FRIEDL et al., 2010), para os cálculos do RF. O parâmetro A_n varia com a vegetação de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Valores assumidos pela constante A_n para as 7 classes de vegetação para o RF, na versão V9 de 2012

Vegetação	Valor de A_n
Ombrófila densa; alagados.	1,50
Florestas Decíduas e sazonais	1,72
Florestas Contato; campinarana	2,00
Savana arbórea; Caatinga fechada.	2,40
Savana; Caatinga aberta.	3,00
Agricultura e diversos	4,00
Pastagens Gramíneas	6,00

Fonte: Setzer e Sismanoglu (2012), adaptado pelo autor.

e) Ajuste em relação à umidade

O ajuste realizado em relação a umidade relativa (UR) se baseia em uma correção do risco de fogo associado a um valor limite de umidade relativa mínima do ar, pois, o risco aumenta quando a UR abaixo de 40% e diminui para valores acima desta referência. Usam-se os dados de umidade das observações das 18UTC, assumidos como sendo do mínimo diário da UR. A equação de ajuste do Fator de Umidade (FU) é:

$$FU = UR * -0,006 + 1,3(3)$$

É importante salientar que os campos de temperatura máxima e de umidade mínima do ar das 18UTC à superfície, são extraídos das análises feitas no CPTEC pelo modelo MCGA CPTEC/COLA – T299 de 45km, para toda a América do Sul (Cavalcanti et al., 1995). Estas análises, por sua vez, resultam da interpolação dos dados das estações meteorológicas de superfície (ALMEIDA et al., 2005, FERREIRA et al., 2000).

f) Ajuste em relação à temperatura

O ajuste do risco de fogo para a temperatura máxima do ar é realizado pois, entende-se que a temperatura do ar tem um efeito linear no risco. O risco aumenta para temperaturas ($T_{m\acute{a}x}$) acima de 30°C e diminui para valores abaixo desta referência. Usam-se os dados de temperatura das observações das 18h UTC, considerando que seja seu máximo diário. A equação de ajuste do Fator de temperatura (FT) é:

$$FT = T_{m\acute{a}x} * 0,02 + 0,4 (4)$$

g) Cálculo do risco observado

O risco observado foi obtido mediante a multiplicação do Risco de Fogo (RF) básico pelos fatores de correção da umidade relativa mínima e da temperatura do ar máxima, como pode ser verificado na equação abaixo:

$$RF = R_b * FT * FU \text{ (5)}$$

h) Risco de fogo

Finalmente, quando for constatado que em locais com RF nas classes mínimo ou baixo ocorreu algum foco de queima detectado pelos satélites nos últimos 3 dias, associado a um período de não ocorrência de precipitação, alterou-se o valor do RF para alto. Ou seja, um valor com RF calculado menor que 0,4, passaria ao valor de 0,95. Essa análise e correção final do RF, atuou como uma memória interna do risco para corrigir falsos alarmes de risco baixo.

Os valores finais do RF foram agrupados nas seguintes classes, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Classes do risco de fogo

Classes de RF	Valores de RF
Mínimo	< 0,15
Baixo	0,15 < 0,40
Médio	0,40 < 0,70
Alto	0,70 < 0,95
Crítico	>0,95

Setzer e Sismanoglu (2012), adaptado pelo autor.

Análise dos dados

Para iniciar esta etapa é importante salientar que, para fins deste estudo, foi realizado uma parceria com Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE), sendo, o cálculo do RF realizado pela equipe responsável do gerenciamento do Portal de Queimadas do CPTEC-INPE. Tal equipe, viabilizou a busca no banco de dados, os valores inerentes as datas e a localização geográfica de cada ocorrência de incêndio florestal nas áreas de floresta plantada na Costa Norte do Espírito Santo e Costa Sul da Bahia.

A busca esteve compreendida entre os dados catalogados no período que compreende os anos de 2010 e 2015, na área de interesse do presente estudo. O produto final gerado foi uma tabela com os campos: dia de ocorrência, coordenadas N e E em UTM, e valor do risco de fogo.

De posse da tabela e do aplicativo computacional ArcGIS 10.3, realizou-se a espacialização dos valores de RF em relação a suas coordenadas X e Y, posteriormente, transformou-se os dados, até então flutuantes, em um arquivo vetorial de pontos com coordenadas projetadas na *Universa Transversa de Mercator* (UTM-Sirgas 2000).

Com a criação do arquivo vetorial em formato *shapefile*, realizou-se a separação dos incêndios florestais em relação as subzonas presentes na área de estudo, resultando em dois novos arquivos. Após a separação, fez-se a transformação do arquivo formato *Database(.dbf)* para o formato planilha (.xls).

De posse das planilhas, fez-se a análise da frequência da ocorrência de incêndios florestais, agrupando-se as ocorrências de incêndios florestais em suas respectivas classes.

3.7 Desenvolvimento de um sistema de risco de incêndios florestais baseado em banco de dados das áreas de florestas plantadas (*RIF-Database*)

Para o melhor entendimento da metodologia utilizada, a mesma foi dividida em duas partes, sendo: Parte 1: Desenvolvimento do modelo de risco de incêndios florestais do sistema de banco de dados *RIF-Database*, e, Parte 2: Definição das classes de risco a serem utilizadas.

Parte 1: Desenvolvimento do sistema de risco de incêndios florestais – Software RIF-Database.

A primeira parte da metodologia é referente ao desenvolvimento do modelo do sistema de banco de dados *RIF-Database*². Pode-se agrupar em três etapas, sendo elas: Etapa 1 – Preparação da base de dados; Etapa 2 – Seleção das variáveis; e, Etapa 3 – Definição dos pesos e cálculo do risco.

Etapa 1 – Preparação da base de dados

A base de dados utilizada é a mesma descrita no Capítulo 1 da presente Tese. Entretanto, criou-se 26 novas planilhas, uma para cada estação, com as informações de quatro variáveis meteorológicas, sendo elas: umidade relativa mínima diária, radiação solar total diária, temperatura média do dia; e, precipitação

² O APÊNDICE 2 apresenta a programação do sistema de base de dados *RIF-DATABASE* e seus parâmetros.

diária e também com a informação se houve ou não incêndio naquele dia. Com a nova planilha, fez-se o cálculo da média dos últimos 7 e 14 dias para todas as variáveis, e também se fez o cálculo dos dias sem chuva, totalizando 13 colunas com os dados das variáveis e suas respectivas médias de 7 e 14 dias, além de uma coluna com a informação da ocorrência de incêndio.

Etapa 2 – Seleção das variáveis

A seleção da variável inicia-se com a junção das planilhas de cada estação referentes as subzonas 1, 2 e 3. Feito esse processo, têm-se duas planilhas, uma para cada subzona. Realizou-se a separação dos dias com e sem incêndios em cada planilha, após a separação, fez-se a média de cada coluna, descritas na etapa anterior. Após o cálculo, obteve-se a diferença entre a média dos dias com e dos dias sem incêndios florestais.

Com a diferença entre as médias, fez-se a normalização dos valores encontrados e, posteriormente, avaliou-se a representatividade de cada uma das 13 variáveis, sendo que, representatividades inferiores a 5% leva a exclusão da variável do modelo, e acima de 5% é incluída.

Etapa 3 – Definição das notas, dos pesos e cálculo do risco

Após a seleção das variáveis, retoma-se as duas planilhas referentes as subzonas 1 e 2, afim de que se possa trabalhar apenas com os dados dos dias que ocorreram incêndio florestal.

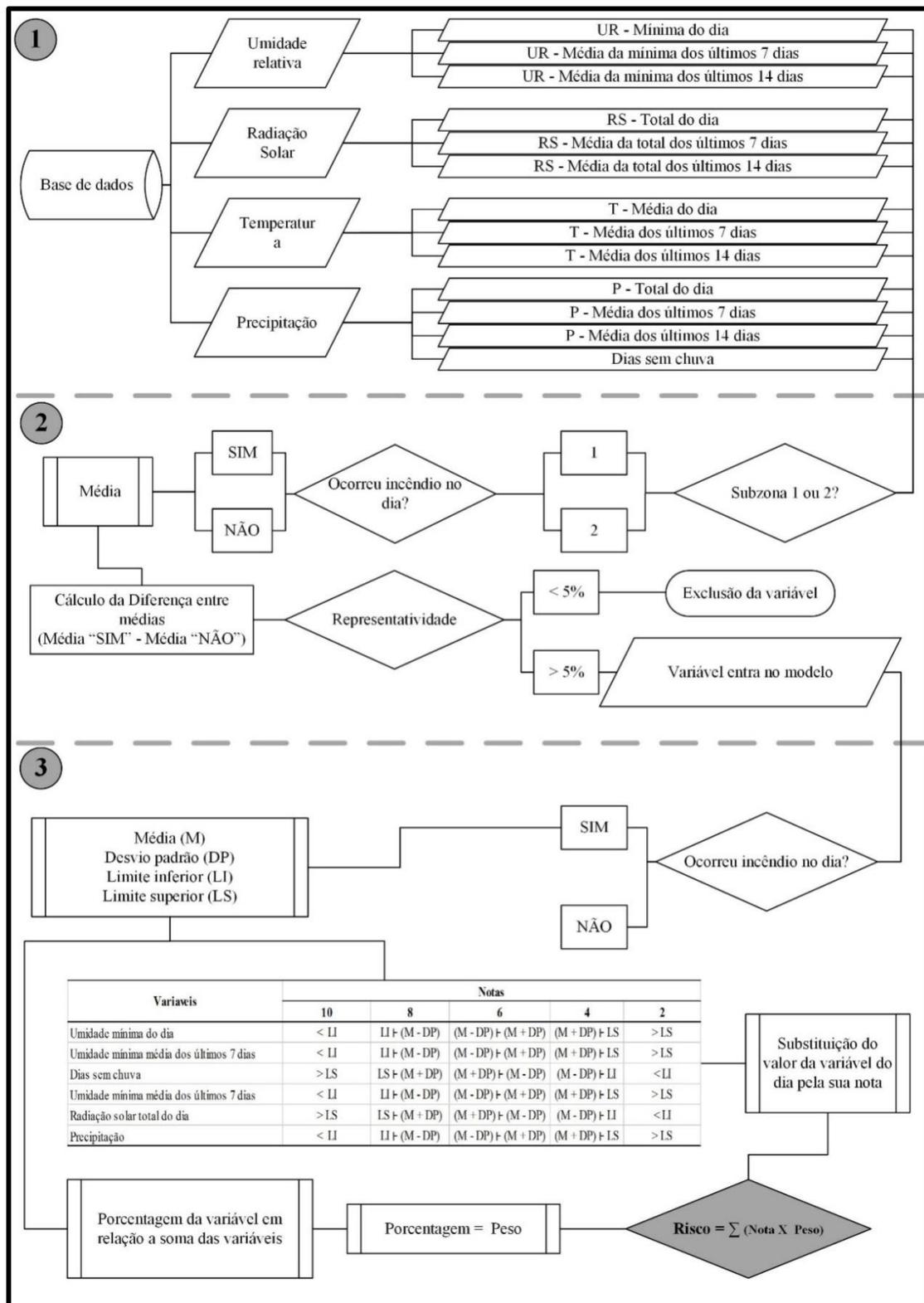
A partirdos valores das variáveis meteorológicas selecionadas, fez-se o cálculo de quatro parâmetros estatísticos: média, desvio padrão, limite superior e limite inferior. Com esses parâmetros criou-se um sistema de classes para cada variável, o qual foram atribuídas notas de acordo com a variável e o seu valor.

As variáveis foram então distribuídas em consonância do impacto direto ou indiretoque pode causar no risco. Por exemplo, quanto mais dias sem chuva, maior é o risco, quanto maior for a umidade relativa mínima do ar menor é o risco de ocorrência de incêndios. Realizado este processo, criou-se cinco novas colunas na planilha, para atribuição do primeiro peso, de acordo com a variável.

Para a determinação da importância da variável, realizou-se a normatização dos valores de cada variável e assim calculou-se a porcentagem da variável em relação a soma das variáveis. Esse valor percentual, é o peso para entrada no

modelo. O cálculo do risco³ é realizado com o somatório do produto entre as notas e os pesos das variáveis. As etapas necessárias estão dispostas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das três etapas necessárias para o cálculo do risco de incêndios florestais pelo software *RIF-Database*.



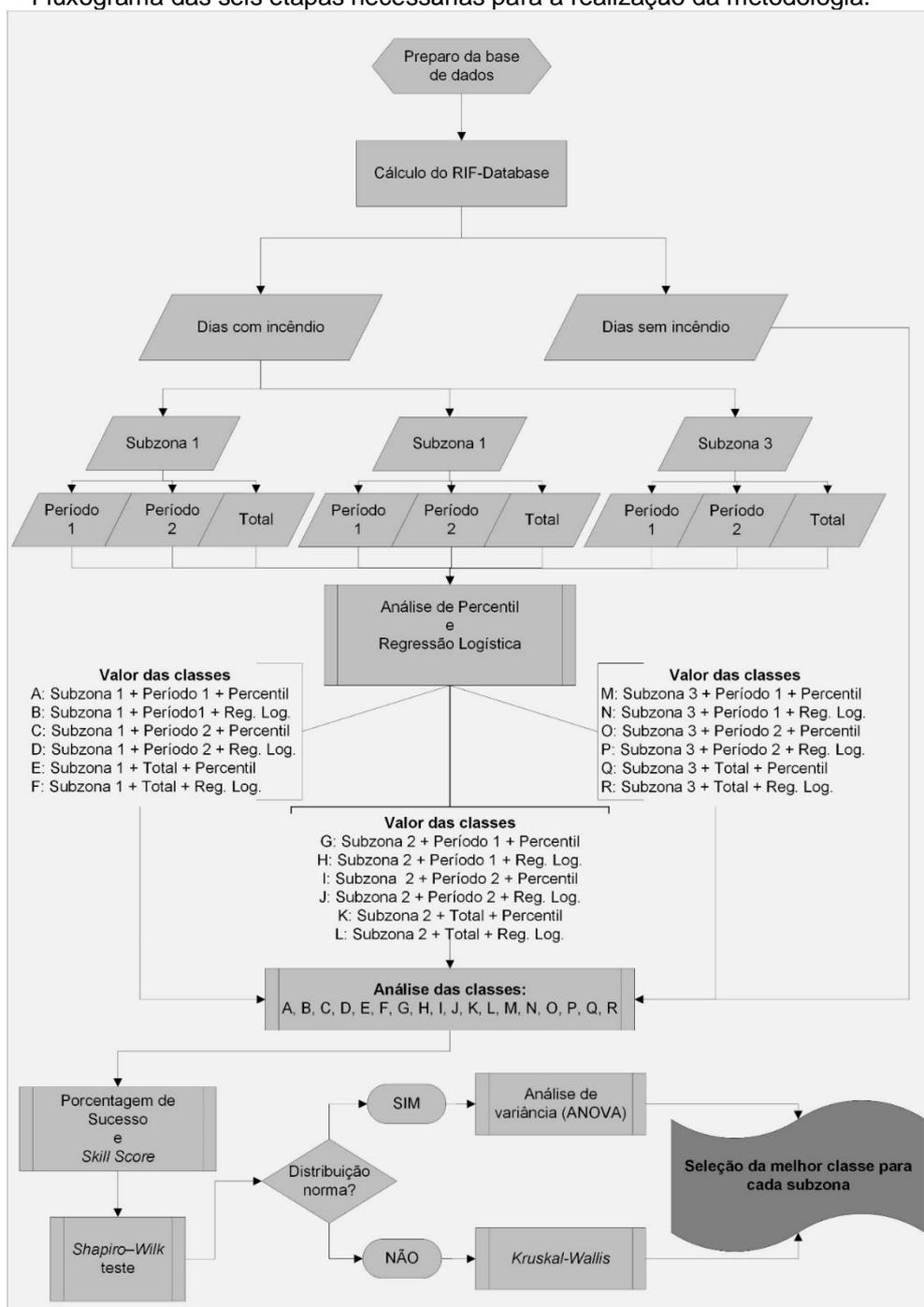
Fonte: o autor.

³ No APÊNDICE 3, é mostrado passo a passo para o cálculo em um exemplo.

Parte 2: Definição das classes de risco a serem usadas

A segunda parte da metodologia é referente a definição dos intervalos de classe e abrange cinco etapas: Etapa 1 – Criação de planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais; Etapa 2 – Criação de planilhas de acordo com a época de incêndios florestais da região de estudo; Etapa 3 – Definição das classes de risco; Etapa 4 – Análise dos resultados das classes encontradas; e, Etapa 5 – Seleção do melhor ajuste. Ressalta-se que não será descrita as Etapas de 1 a 5, uma vez que esta foi descrita no item anterior (item 3.4).

Figura 1 – Fluxograma das seis etapas necessárias para a realização da metodologia.



Fonte: o autor.

3.8 Seleção de modelo de risco de incêndios florestais para as áreas de florestas plantadas

A metodologia utilizada será dividida em cinco etapas, sendo: Etapa 1 – Preparo da base de dados e cálculo do risco; Etapa 2 – Distribuição dos valores de risco de incêndio florestais para cada classe de risco; Etapa 3 – Criação de planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais da região de estudo; Etapa 4 – Análise dos resultados das classes encontradas; e, Etapa 5 – Escolha do modelo.

Etapa 1 – Preparo da base de dados e cálculo do risco

A preparação do banco de dados começou com a aquisição do mesmo. Todos os dados referentes às variáveis meteorológicas foram adquiridos junto a empresa FIBRIA Celulose S. A., a qual possui acesso ao banco de 20 estações meteorológicas e dados referentes ao número de incêndios florestais, para a região do presente estudo, entre 01/07/2015 e 30/06/2016.

Para cada estação, independente da sua localização geográfica na área de estudo, foi realizado o cálculo dos valores dos riscos de incêndio florestais pelos modelos: FWI, realizado por intermédio de um suplemento de Excel®, disponibilizado pelo Serviço Florestal Canadense⁴; FMA⁺, realizado por meio do software desenvolvido baseado na equação concebida pelo estudo de Nunes (2009); e, *RIF-Database*, cálculo do risco realizado com a utilização do sistema baseado em banco de dados. Após o cálculo, fez-se a separação das ocorrências de acordo com a área de abrangência das subzonas 1, 2 e 3.

Etapa 2 – Distribuição dos valores de risco de incêndio florestais para cada classe de risco

Os modelos FWI, FMA⁺ e *RIF-Database* possuem intervalos distintos para cada classe de risco e subzona, conforme pode ser observado na Tabela 1.

⁴Cedido à investigação conduzida pela Dr^a Beatriz Duguay Pedra para o projeto europeu FUME (Forest fires under climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world - GA 243888) http://cordis.europa.eu/result/rcn/90753_es.html

Tabela 1 –Valores limites das classes dos riscos de incêndio florestais FWI, FMA+ e RIF-DATABASE

modelo	subzonas	classes de risco				
		baixa	média	alta	muito alta	Extrema
FWI	1	0 – 8	8,1 – 11	11,1 – 15	15,1 – 25	>25
	2	0 – 9	9,1 – 14	14,1 – 18	18,1 – 27	>27
	3	0 – 9	9,1 – 14	14,1 – 19	19,1 – 30	>30
FMA+	1	0 – 10	10,1 – 17	17,1 – 25	25,1 – 56	>56
	2	0 – 14	14,1 – 23	23,1 – 35	35,1 – 78	>78
	3	0 – 14	14,1 – 23	23,1 – 35	35,1 – 63	>63
RIF- Database	1	0 – 44	44,1 – 55	55,1 – 64	64,1 – 81	>81
	2	0 – 47	47,1 – 57	57,1 – 65	65,1 – 84	>84
	3	0 – 43	43,1 – 53	53,1 – 62	62,1 – 81	>81

Fonte: o autor.

Etapa 3 – Criação de novas planilhas de acordo com a ocorrência ou não de incêndios florestais

De acordo com a sua classe, fez-se a separação dos dias com e sem ocorrência de incêndios florestais. Uma vez que, cada estação possui uma área de abrangência e, conseqüentemente, é possível ter o conhecimento das datas em que houve um incêndio florestal dentro dessa área.

Etapa 4 – Análise dos resultados das classes encontradas

Após a realização dos cálculos e determinação dos valores para cada classe, obteve-se o comportamento do risco de incêndio, para as diferentes metodologias.

Para analisar o comportamento do risco dos modelos RIF-DATABASE, FWI e FMA+ nas diferentes classes, foi realizado um cruzamento do risco calculado e as datas que ocorreram ou não incêndio florestal. A descrição da metodologia de análise dos resultados pode ser encontrada na Etapa 5 do item 3.4.

Etapa 5 – Escolha do modelo

A escolha do modelo é uma etapa crucial para a correta utilização de um índice de risco. Os métodos empregados no presente estudo consistiram na

validação e escolha dos resultados apresentados pelas porcentagens de sucesso e do valor de *skill score*, para cada subzona e modelo de risco. Inicialmente, realiza-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo que os mesmos foram normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100.

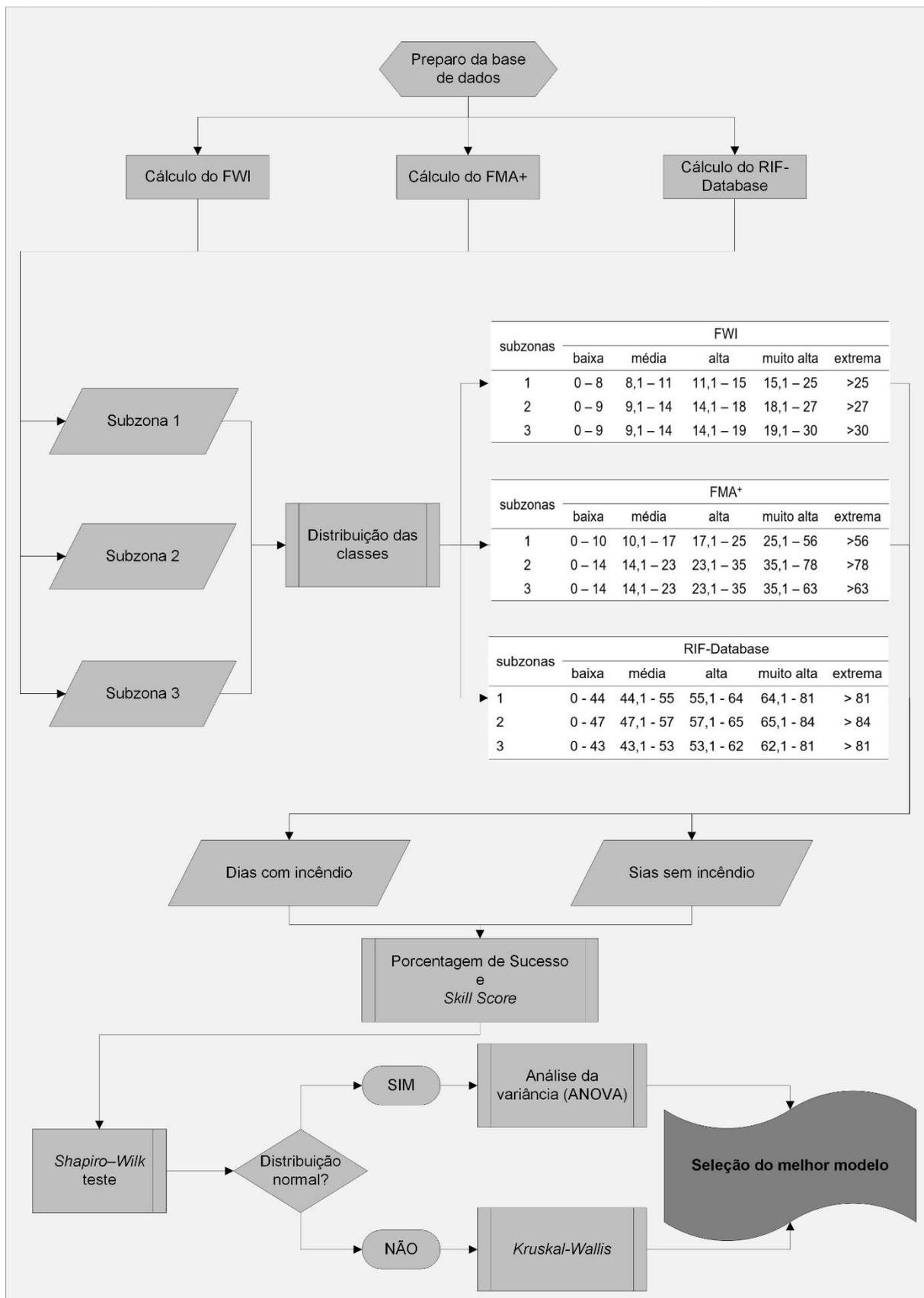
Após a normalização dos valores, realiza-se o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk, a fim de que se possa saber se a amostra é ou não proveniente de uma distribuição normal. Sendo que, H_0 : A amostra provém de uma distribuição normal e, H_1 : A amostra não provém de uma distribuição normal.

Caso a amostra seja advinda de uma distribuição normal, realizou-se o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações. Se o teste F, for significativo, se realizou o teste *posthoc* de Tukey-Kramer (nível de significância = 0,05), para comparar todos os id's entre si. Sendo que, o maior valor de média será o modelo escolhido.

Por outro lado, caso a amostra não veio de uma distribuição normal, utilizou-se o teste de análise de variância não paramétrico de Kruskal-Wallis, sendo que a hipótese nula é a igualdade entre os modelos, em cada subzona, ao nível de significância igual a 0,05 e 95% de intervalo de confiança.

Essa metodologia tenta solucionar uma difícil situação vivenciada nas áreas de florestas plantadas na costa centro-norte do Espírito Santo e costa sul da Bahia, uma vez que, nessa região há cerca de 92% dos dias sem a ocorrência de incêndios florestais e apenas 8% dos dias com incêndios florestais. Somado a esse fator, têm-se que, a área possui um histórico de incêndios criminosos, diminuindo assim, a relação existente entre as variáveis e sua resposta no modelo. Todas as cinco etapas para realizar a presente metodologia estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas necessárias para a realização da metodologia.



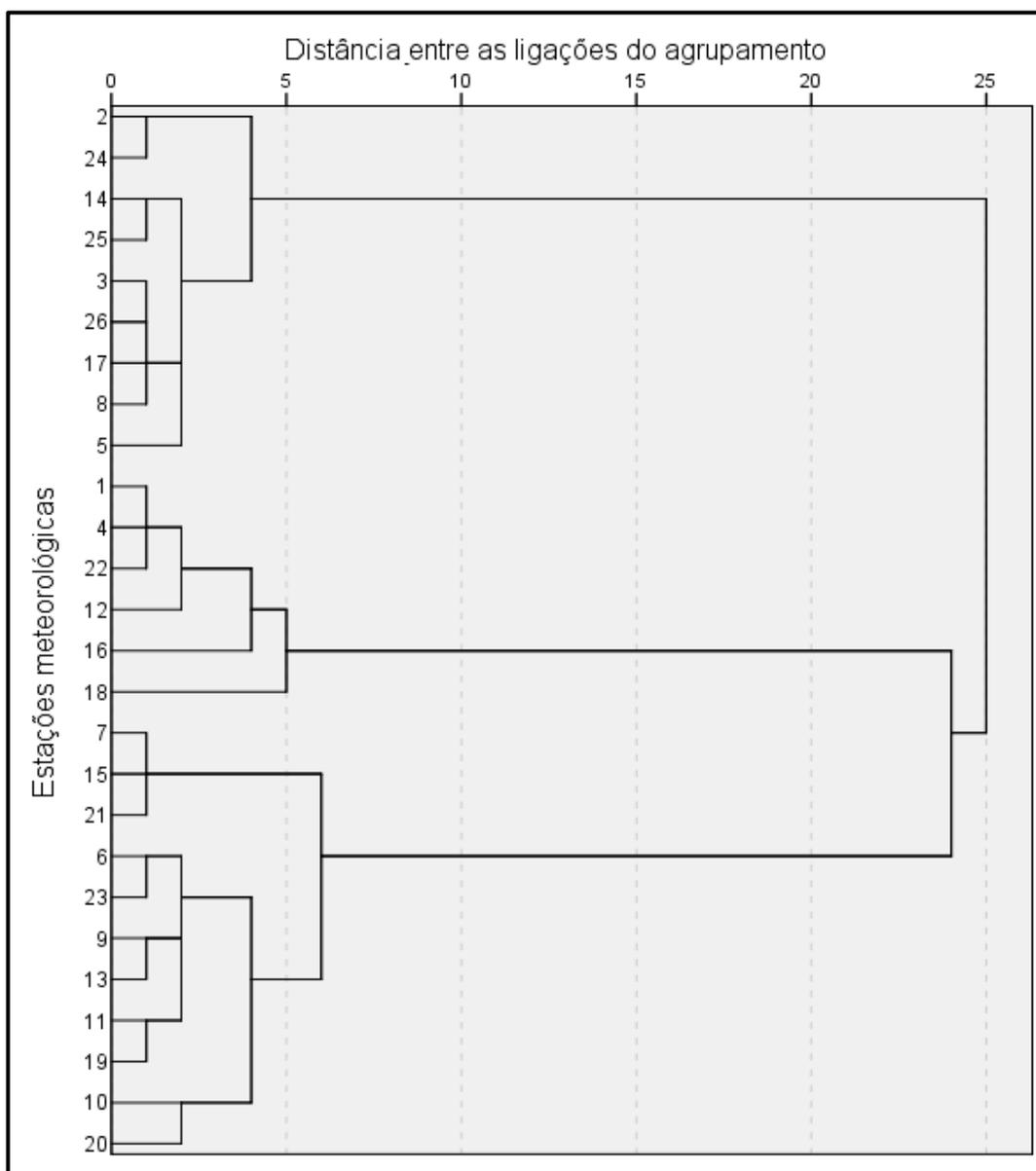
Fonte: o autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação climática

Com os dados padronizados da temperatura do ar média mensal, precipitação pluviométrica média mensal, umidade relativa média mensal, e, deficiência hídrica média mensal, foi possível a obtenção do dendrograma de agrupamento das estações meteorológicas (Figura 2).

Figura 2. Dendrograma usando o método de Ward para o agrupamento das estações meteorológicas.



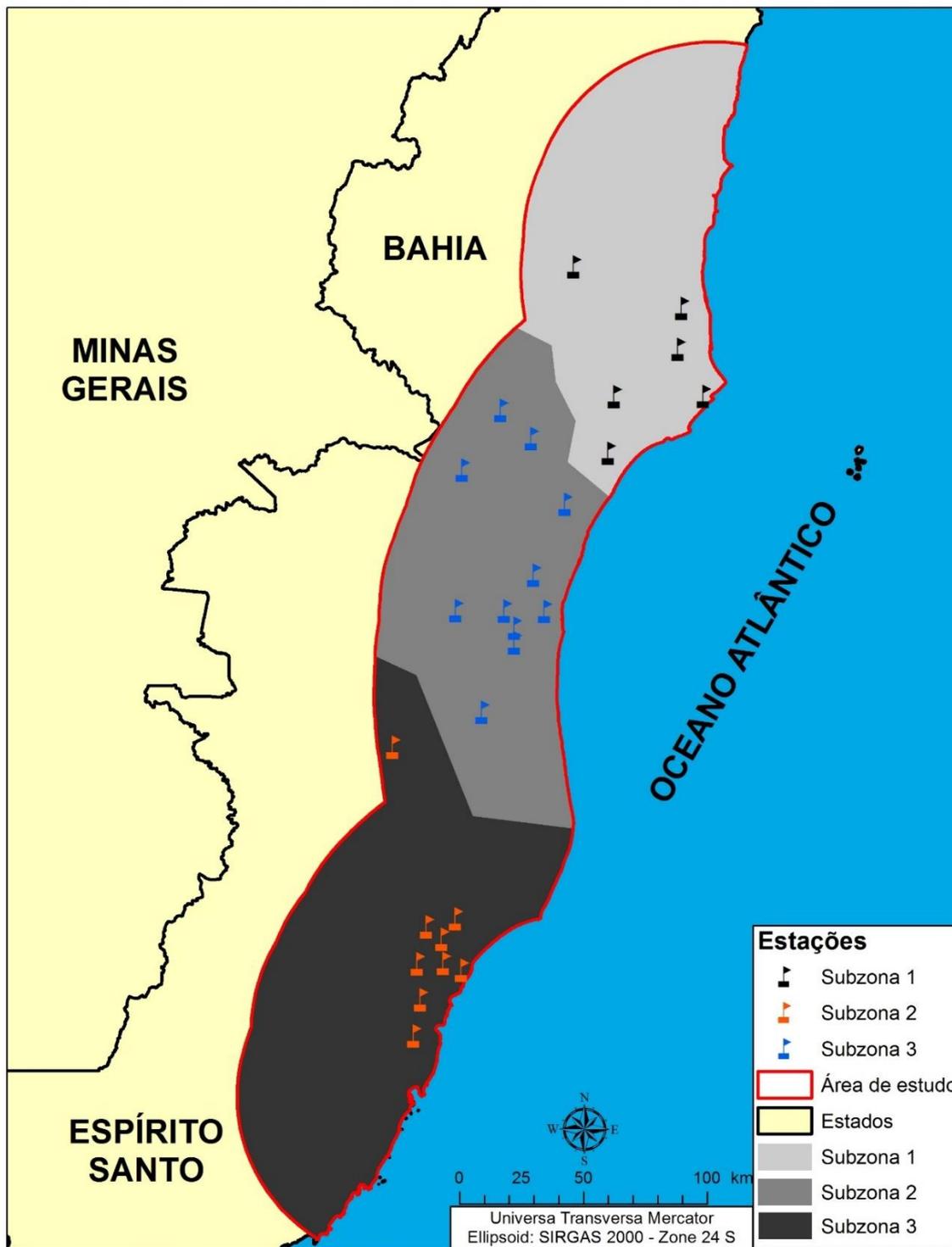
Fonte: o autor.

É possível visualizar na Figura 2 os três agrupamentos das estações meteorológicas da área de estudo, contendo 9, 6 e 11 estações em cada subzona. Essa disposição é validada por meio do valor obtido do coeficiente de correlação

cofenética, $CCC=0,832$, portanto, é possível afirmar que há 3 subzonas climáticas na área de estudo.

Para melhor visualização da disposição espacial das três subzonas, fez-se o mapeamento da área de estudo com as estações, e suas áreas de abrangência, já agrupadas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição espacial das estações meteorológicas e das subzonas climáticas após a realização do agrupamento.



Fonte: o autor.

Observa-se que o agrupamento pelo método de *Ward*, originou agrupamentos de estações vizinhas, sendo as estações presentes no norte da área de estudo, na região de divisa dos estados da Bahia e do Espírito Santo e sul da área de estudo.

Os resultados corroboram com aqueles apresentados por Dourado et al. (2013) que analisaram as zonas homogêneas em séries temporais de precipitação pluviométrica, entre os anos de 1981 e 2010, para o estado da Bahia e relataram que as estações localizadas na região sul da Bahia pertencem ao mesmo agrupamento, caracterizadas por subzonas mais secas.

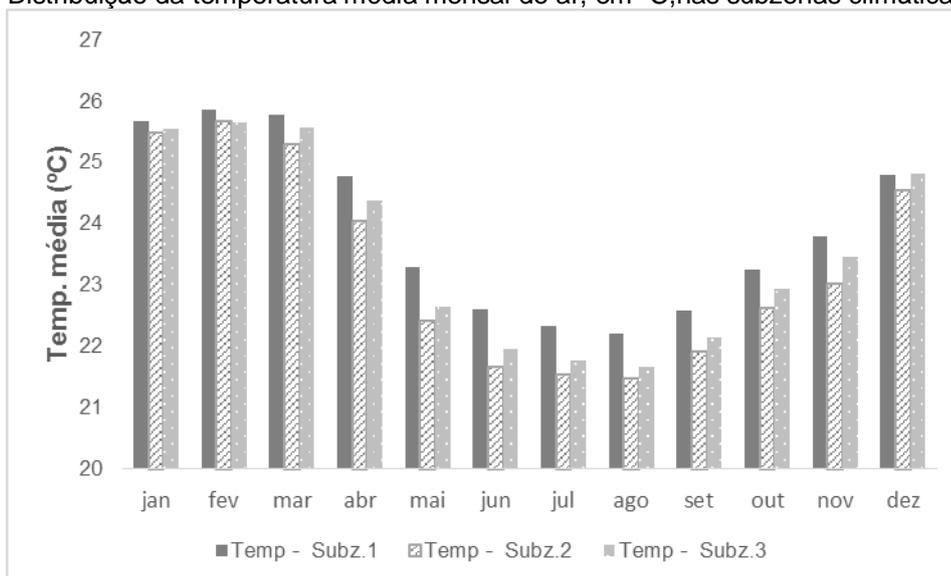
Outro fato que corrobora com o encontrado, é o do trabalho proposto por Alvares et al. (2013), os quais produziram em seu estudo a classificação climática de Köppen para todo o Brasil, com resolução de 1 hectare. Tal estudo foi realizado com dados de estações climáticas compreendidos entre os anos de 1950 e 1990. A análise do trabalho destes autores evidencia três tipos de clima na região de estudo, sendo que: a) na Costa Norte da área de estudo há o predomínio do clima Af (Clima Tropical Úmido); b) o clima Am (Clima de Monção) aparece mais para dentro do continente no norte da área de estudo e ao sul ele inverte, abrangendo toda a Costa e c) o clima Aw (Clima Tropical com estação seca de verão) predomina a região Continental na região sul da área de estudo.

É importante ressaltar que, há uma subzona muito seca no sul da Bahia e noroeste do Espírito Santo (dentro da subzona 1), conforme apontado pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN-BR), o qual classifica a região do sul da Bahia e as áreas do entorno como áreas susceptíveis a desertificação (MMA, 2005). Portanto, a formação de um agrupamento nesta área vem ao encontro do que era esperado.

Esse fato também é observado por Eugenio et al. (2016), os quais, ao realizarem o mapeamento de risco de incêndios florestais para o estado do Espírito Santo, apontaram a região noroeste deste estado como região susceptível a ocorrência de incêndios florestais devido à baixa precipitação e a elevada evapotranspiração da região, em relação ao clima médio do estado capixaba.

A análise das médias de temperatura do ar (Figura 4), permite de forma visual, a percepção da diferenciação das médias obtidas pelas estações pertencentes aos diferentes agrupamentos.

Figura 4 – Distribuição da temperatura média mensal do ar, em °C, nas subzonas climáticas.

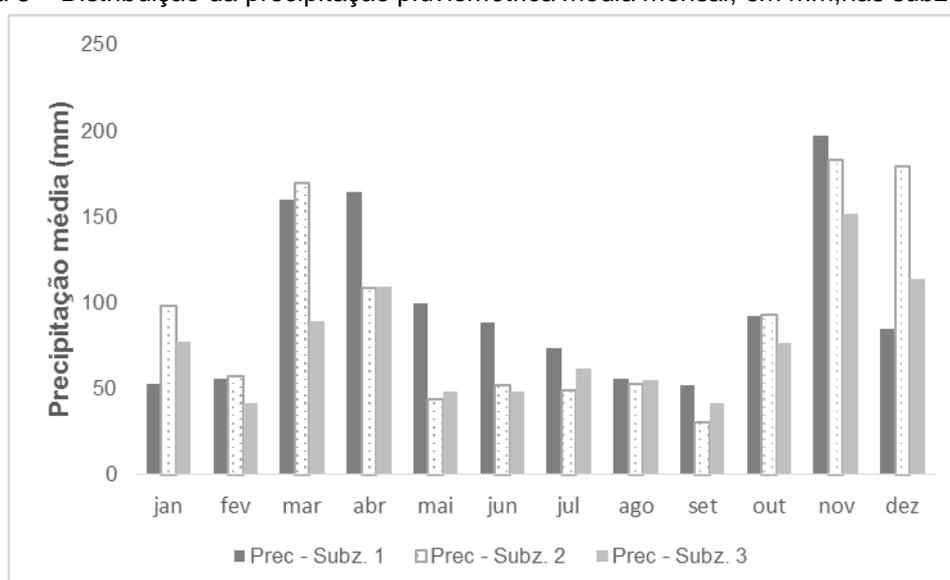


Fonte: o autor.

Não há uma diferenciação visual expressiva em relação a temperatura média mensal entre as três subzonas presentes na área de estudo, as médias anuais para as subzonas 1, 2 e 3, foram respectivamente, 23,9°C; 23,3°C; e, 23,5°C.

Em relação ao total da precipitação pluviométrica, verificou-se diferenças visuais entre o total de precipitação médio anual para as subzonas analisadas sendo que, a subzona 1 teve a maior média de precipitação anual com 1.175,7mm, seguido pela subzona 2 com 1.115,1mm e por último a subzona 3 com 914,1mm. Na Figura 5 é possível visualizar as médias mensais da precipitação entre as subzonas estudadas.

Figura 5 – Distribuição da precipitação pluviométrica média mensal, em mm, nas subzonas climáticas.



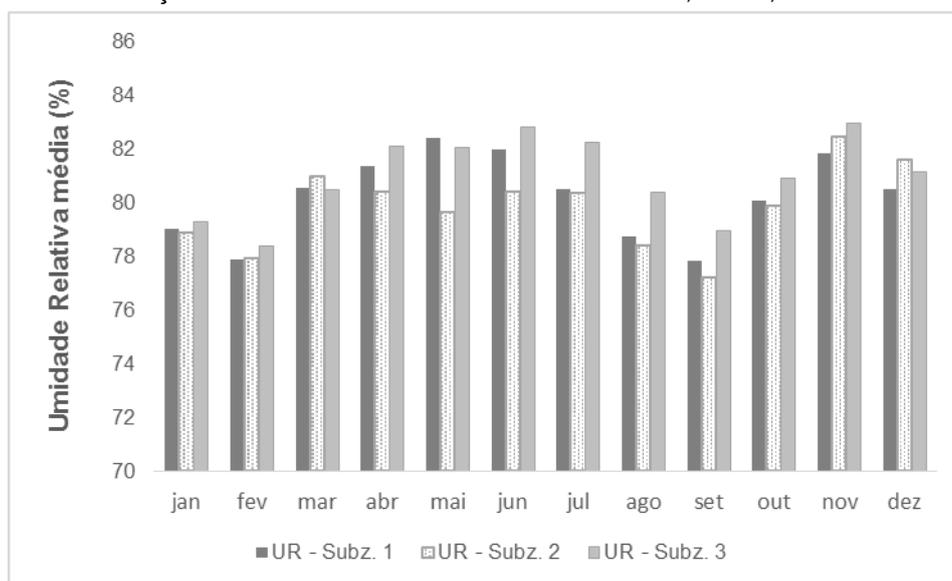
Fonte: o autor.

Era esperado uma menor precipitação na subzona 2, centro da área de estudo, uma vez que é uma área propensa a desertificação, entretanto, esse fato pode ser explicado pelo fato da análise envolver apenas 5,5 anos, ou seja, uma pequena amostra quando comparada ao recomendado pela Organização Meteorológica Mundial, que é de 30 anos para caracterizar o clima de uma região.

A distribuição da umidade relativa média mensal entre as subzonas estudadas pode ser visualizada na Figura 6. Há uma dissiparidade presente entre as subzonas de estudo no que tange os meses com menor umidade relativa, sendo que para as subzonas 1 e 2 é o mês de setembro e para a subzona 3 é o mês de fevereiro.

Entretanto essa diferença é indiferente quando se tem a análise a nível da média anual, onde se tem os valores de 80,2mm; 79,8mm e 81,0mm, para as subzonas 1, 2 e 3, respectivamente. Apesar da pequena diferença encontrada, a menor umidade média anual está presente na subzona 2, onde se têm a área propensa a desertificação.

Figura 6 – Distribuição da umidade relativa média mensal do ar, em %, nas subzonas climáticas.

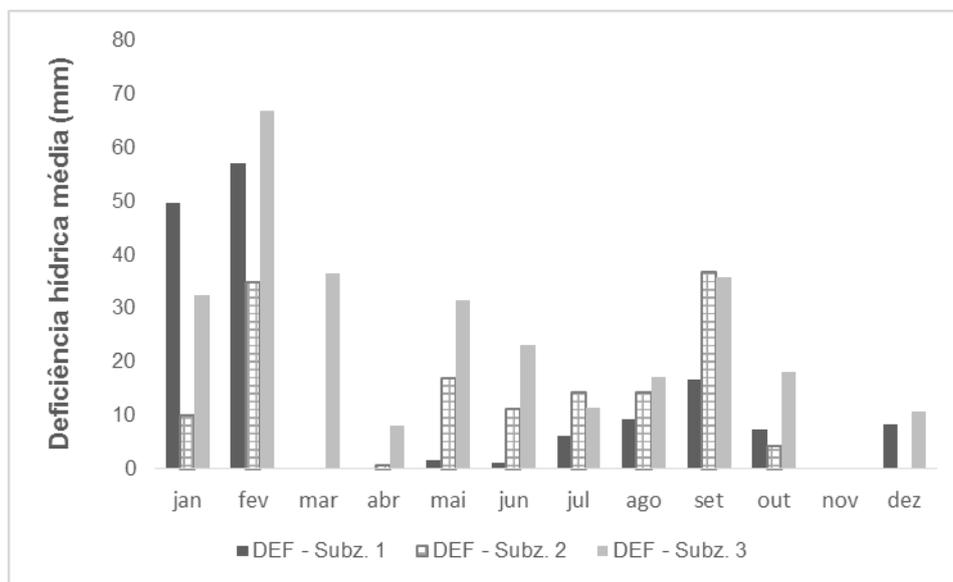


Fonte: o autor.

A Figura 7 contém a distribuição da deficiência hídrica média mensal nas subzonas climáticas presentes na área de estudo, é possível notar que a subzona 3 apresenta os maiores valores e essa é a que possui a maior deficiência hídrica acumulada para a área de estudo com 292,0mm, seguida da subzona 1, com 157,5mm, e, por último, a subzona 2, com 143,6mm.

Entretanto, cabe ressaltar que esse valor de deficiência hídrica média acumulada anual, aliado com a diferença, de aproximadamente, 262mm de precipitação que existe entre a subzona 3 e 2, é possível afirmar que a subzona 2 foi a que teve o clima mais seco das subzonas, no período estudado.

Figura 7 – Distribuição da deficiência hídrica média mensal em mm nas subzonas climáticas



Fonte: o autor.

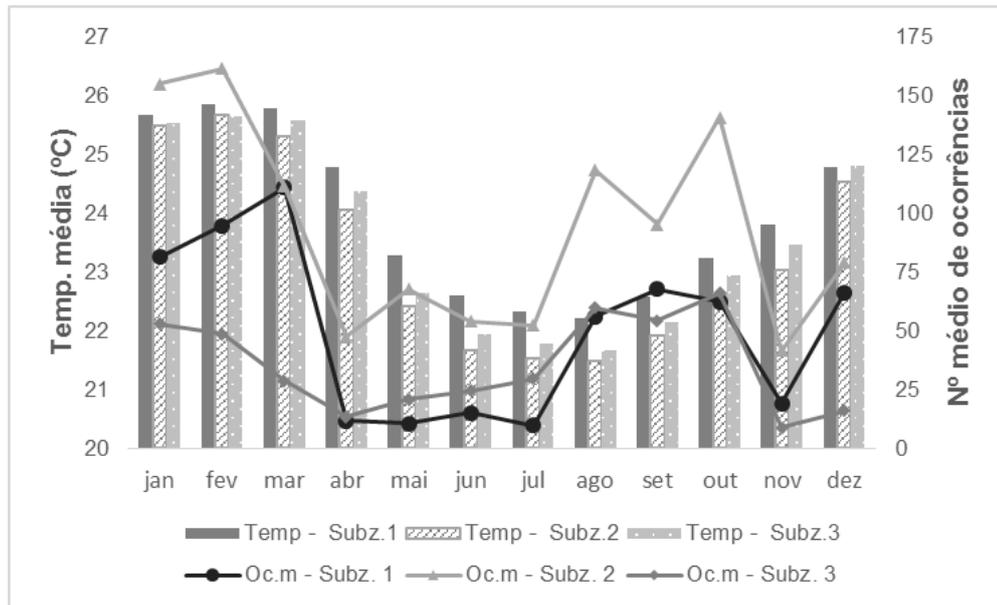
Portanto, após a análise das variáveis climáticas, temperatura do ar, precipitação pluviométrica, umidade relativa, e, deficiência hídrica, vai ao encontro do que foi verificado pelo coeficiente de correlação cofenético calculado para a análise de agrupamento pelo método de *Ward*.

4.2 Estatística dos incêndios florestais

Em relação ao estudo da estatística dos incêndios florestais, inicialmente, é importante frisar que a análise das variáveis meteorológicas comporta o período de ocorrência dos incêndios florestais analisados, 01/09/2010 à 31/06/2015, o que leva a uma interpretação mais fidedigna da condição meteorológica no dia, e até mesmo na mesma hora, da ocorrência do fogo.

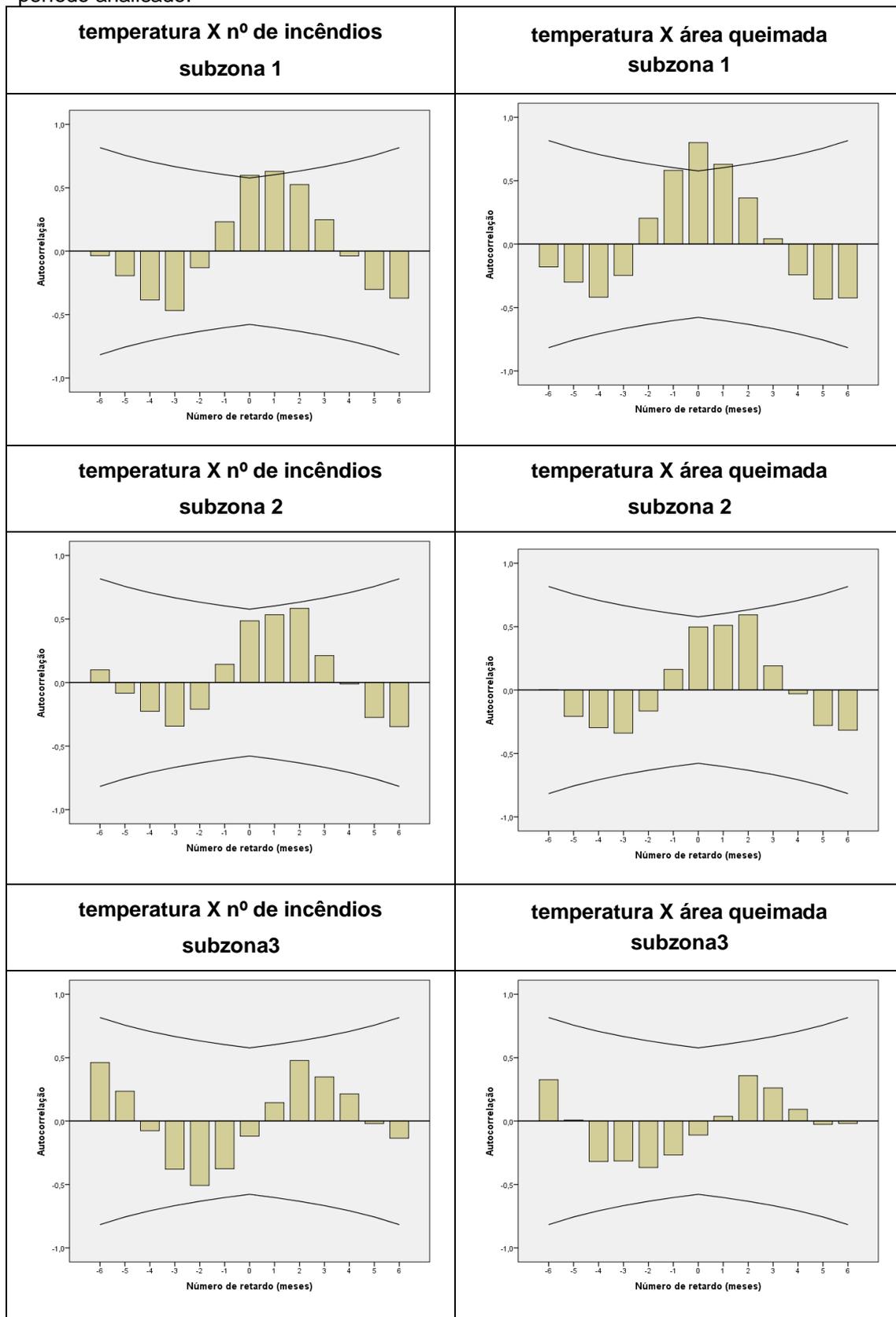
Na Figura 4 têm-se a distribuição da temperatura média do ar e o número médio de ocorrências de incêndios florestais pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo e na Figura 5 têm-se os gráficos da autocorrelação entre temperatura média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

Figura 4 – Gráfico da distribuição da temperatura média (Temp) e o número médio de ocorrência de incêndios florestais (Oc.m) pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.



Fonte: o autor.

Figura 5 – Gráficos da autocorrelação entre temperatura média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.



Fonte: o autor.

É possível analisar que a temperatura média mensal do ae começa a decair nos meses pertencentes ao fim do outono (abril e maio), têm seus menores valores nos meses de inverno (junho, julho e agosto) e volta a subir com o início da primavera (setembro), tendo seus maiores valores no fim do verão (fevereiro), para todas subzonas. Agrega-se a essa informação, que a subzona 1 possui maior temperatura média em todas as estações do ano, já a subzona 2, têm as menores temperaturas.

Conforme Eugenio et al. (2016), quanto maior for a temperatura média, maior é o risco de ocorrência de um incêndio florestal. Entretanto, não observa esse comportamento quando se compara a temperatura média com a média do número de ocorrências na área de estudo. Evidencia-se assim que a temperatura média dos meses não responde de maneira direta a ocorrência ou não de incêndios florestais, podendo a mesma influenciar de maneira indireta a ocorrência.

Observa-se um comportamento distinto dentro da área de estudo, principalmente na subzona 2, pois, apesar de apresentar uma média de temperatura menor em todas as estações do ano, a mesma apresenta maiores valores médios de ocorrência de incêndios florestais em todos os meses.

A análise estatística por meio do coeficiente de *Pearson*, mostrou uma alta correlação positiva entre a temperatura média mensal e o número de incêndios médio mensal para a subzona 1 ($r= 0,598$, $p<0,05$) e também com a área queimada média mensal ($r= 0,800$, $p<0,05$). A correlação cruzada (Figura5) apresenta resultados semelhantes, para o período de retorno igual a zero, ou seja, a temperatura média de cada mês da subzona 1 se correlaciona positivamente e de forma direta dentro próprio mês, sem apresentar nenhum período de retardo para seu acontecimento dentro do período analisado.

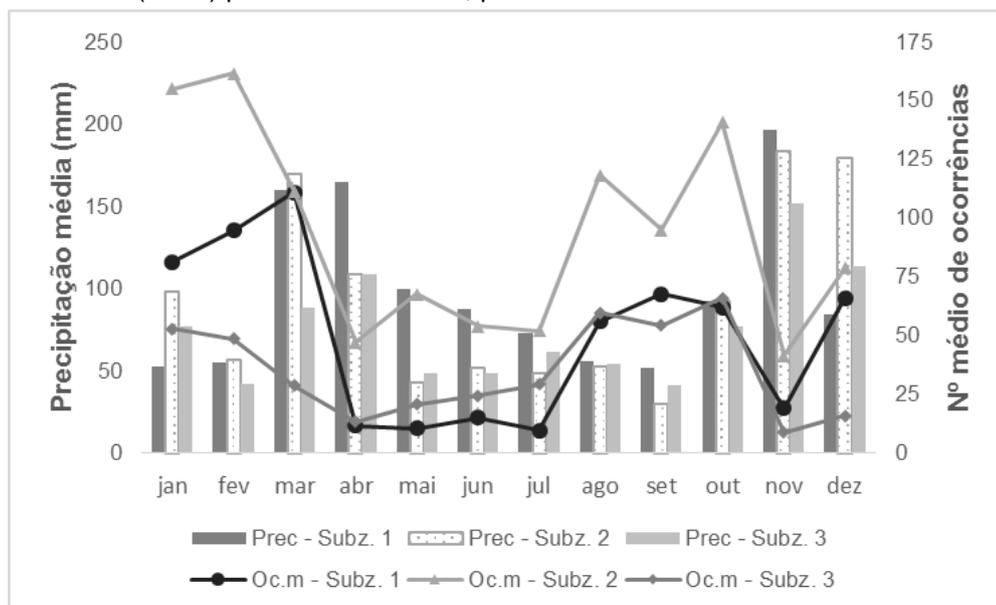
Para a subzona 2, a análise do coeficiente de *Pearson* revelou uma média correlação positiva entre a temperatura média mensal e o número de incêndios médio mensal ($r= 0,485$, $p<0,05$) e também com a área queimada média mensal ($r= 0,497$, $p<0,05$). Resultado semelhante foi obtido para a correlação cruzada, como pode ser visualizado na Figura 5.

Já para a subzona 3, a análise estatística por meio do coeficiente de *Pearson*, mostrou uma baixa correlação positiva entre a temperatura média mensal e o número de incêndios médio mensal para a subzona 1 ($r= 0,119$, $p<0,05$) e também com a área queimada média mensal ($r= 0,110$, $p<0,05$). Obtendo assim, a menor

taxa de correlação entre as subzonas para os incêndios florestais, ocorrência e área queimada, e a temperatura.

A Figura 6 ilustra a distribuição da precipitação média e o número médio de ocorrências de incêndios florestais pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.

Figura 6 – Gráfico da distribuição da precipitação média (P) e o número médio de ocorrência de incêndios florestais (Oc.m) pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.

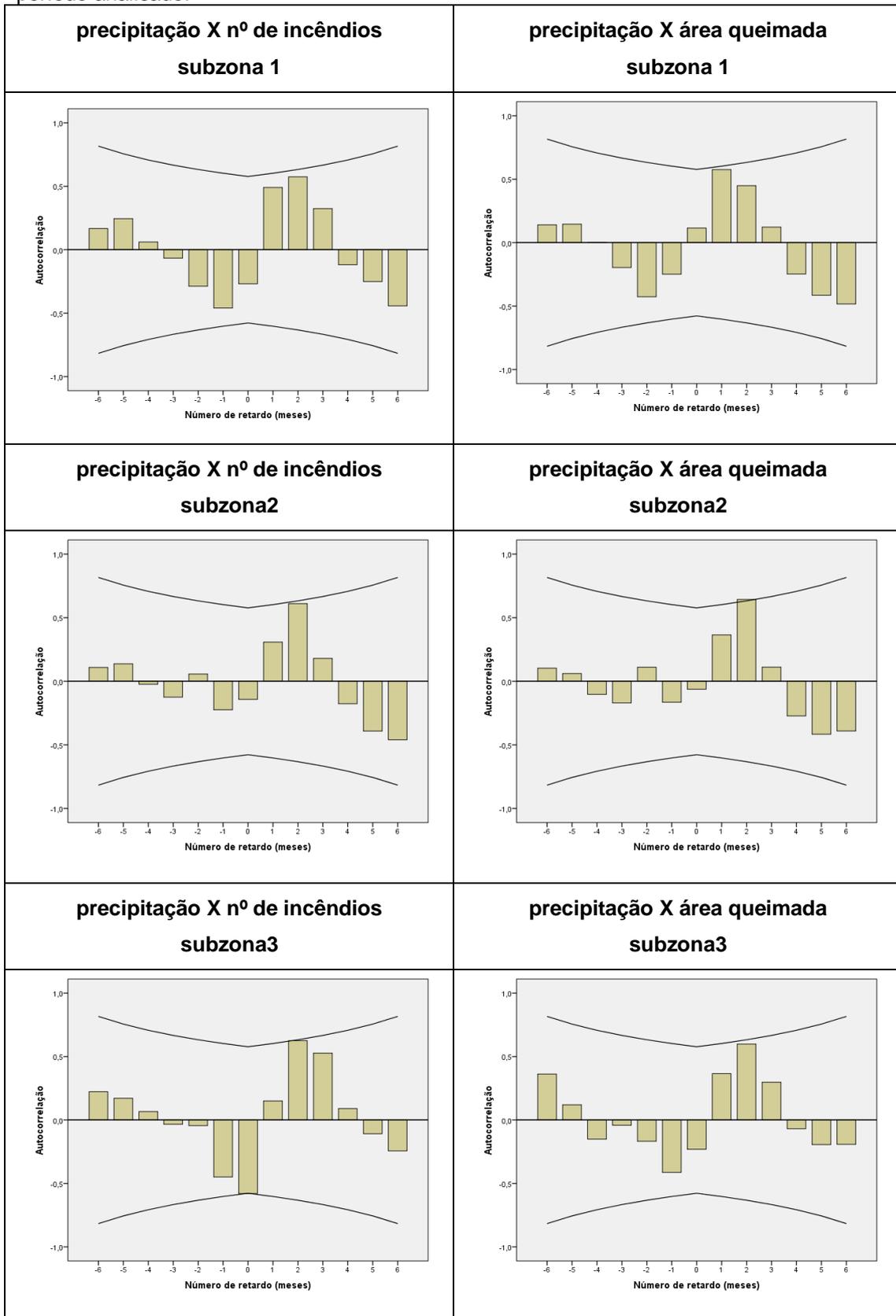


Fonte: o autor.

A precipitação acumulada média anual é de 1.175mm, 1.115mm e 914mm para as subzonas 1, 2 e 3, respectivamente. A distribuição através dos meses evidencia que os meses de março, abril, novembro e dezembro possuem os maiores valores de precipitação média para todas as subzonas, e que a ocorrência de incêndios nas subzonas decresce de forma abrupta entre os meses de março e abril para todas as subzonas.

Na Figura 7 têm-se os gráficos da autocorrelação entre precipitação média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

Figura 7 – Gráficos da autocorrelação entre precipitação média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.



Fonte: o autor.

Pela física do processo de combustão, associada ao fato do imenso valor energético necessário para iniciar um fogo em condições de precipitação, pode-se afirmar que quanto maior for os valores médios de precipitação, menor será a probabilidade de ocorrência. Em condições de campo, as médias podem não serem tão factíveis, uma vez que, a precipitação mensal esperada pode ser mal distribuída pelo mês e esse fato gerar um período de seca, resultando assim, em uma época propícia para ocorrência de incêndios dentro daquele mês.

Tal fato, pode ser a razão, dentro da época estudada e em ambas subzonas, para a variação não proporcional entre os meses com menor precipitação e maior ocorrência de incêndios florestais, apesar de apresentar uma maior tendência de ocorrer incêndios quanto menor for a precipitação média acumulada, ou seja, em relação a precipitação, também não é possível fazer uma relação direta com a maior ocorrência ou não de incêndios florestais.

A análise estatística por meio do coeficiente de *Pearson*, mostrou uma baixa correlação negativa entre a precipitação média mensal e o número de incêndios médio mensal para as subzonas 1 e 2 ($r = -0,269$, $p < 0,05$; $r = -0,142$, $p < 0,05$), e uma baixa correlação positiva com a área queimada média mensal para a subzona 1 ($r = 0,115$, $p < 0,05$), e uma baixa correlação negativa para a subzona 2 ($r = -0,063$, $p < 0,05$).

Já para a subzona 3, a análise estatística por meio do coeficiente de *Pearson*, mostrou uma alta correlação negativa entre a precipitação média mensal e o número de incêndios médio mensal para a subzona 3 ($r = -0,580$, $p < 0,05$) e uma baixa correlação negativa com a área queimada média mensal ($r = -0,231$, $p < 0,05$).

Para a correlação cruzada (Figura 7), também não houve uma correlação estatística entre a precipitação acumulada de cada mês e os incêndios florestais (número de ocorrências e área queimada) para ambas subzonas, exceto para a subzona 3 que houve uma correlação negativa entre número de ocorrência e precipitação média mensal. Neste caso, observa-se que existe uma ação imediata, de forma negativa, da precipitação frente aos incêndios florestais, ou seja, a precipitação acumulada média mensal desfavorece a ocorrência dos incêndios florestais dentro do próprio mês.

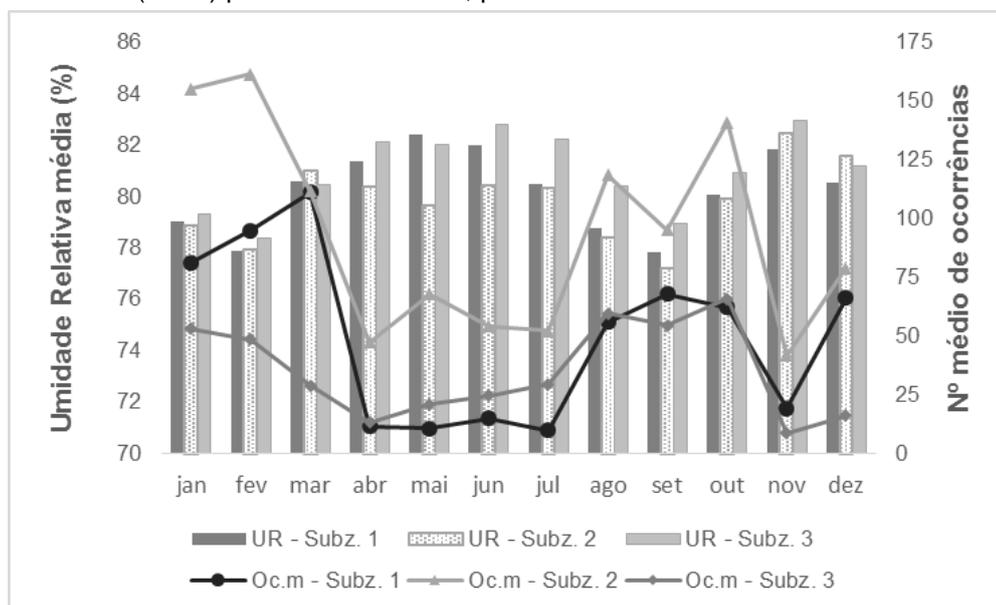
Outro fato observado, foi a relação positiva encontrada em um período de retardo igual a dois meses para a subzona 2 e 3. Esse acontecimento pode ser atribuído a dois fatores: a) um acúmulo do material combustível após as chuvas,

uma vez que a maior parte do ano possui um déficit hídrico para a área, ou b) o período de incêndios florestais, pois na área de estudo têm-se a presença de dois picos de ocorrências e esse período poderia explicar os meses entre o fim das chuvas e o próximo pico de ocorrências.

Esse fato pode estar relacionado ao que foi descoberto pelo trabalho de Pausas (2004), o qual encontrou relação positiva entre os valores da precipitação da época de chuvas e a área queimada dos incêndios florestais em um período de retardo igual a dois anos. Entretanto, para uma análise mais consistente dos possíveis períodos de retorno, deve-se ter um maior volume de dados dos incêndios florestais e uma análise alométrica das vegetações encontradas na área de estudo.

Na Figura 8 têm-se a distribuição da umidade relativa média e o número médio de ocorrências de incêndios florestais pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo. A umidade relativa média é de 80,24%, 79,85% e 81,00% para as subzonas 1, 2 e 3, respectivamente, sendo seus menores valores encontrados nos meses de setembro para as subzonas 1 e 2, e fevereiro para a subzona 3.

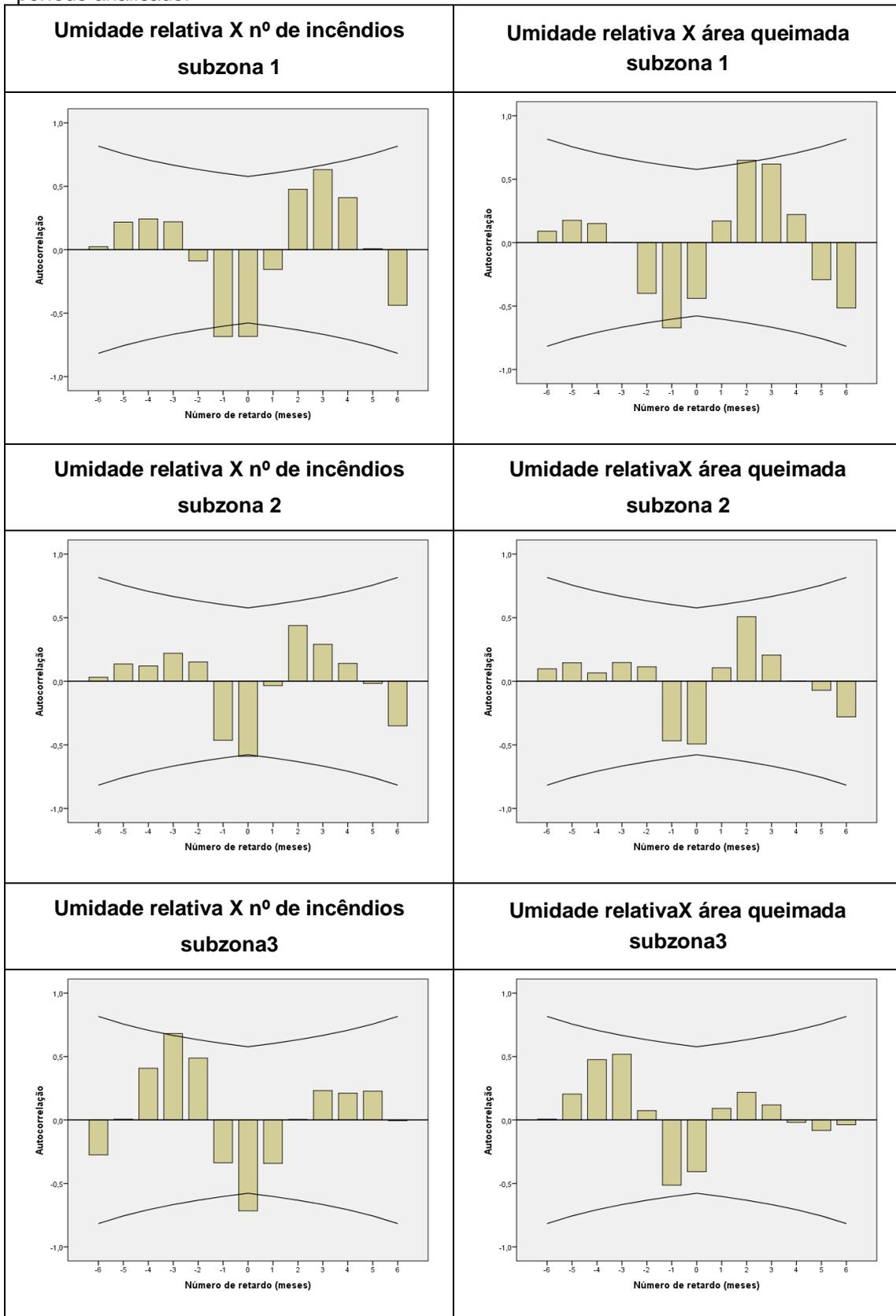
Figura 8 – Gráfico da distribuição da umidade relativa média (UR) e o número médio de ocorrência de incêndios florestais (Oc.m) pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.



Fonte: o autor.

Na Figura 9 têm-se os gráficos da autocorrelação entre umidade relativa média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

Figura 9 – Gráficos da autocorrelação entre umidade relativa média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.



Fonte: o autor.

Conforme descrito por Van Wagner (1987), assim como outros autores, a umidade relativa do ar está diretamente correlacionada com a umidade do material combustível. Esta, por sua vez está correlacionada com a possibilidade de ocorrência ou não de ignição de um fogo, bem como com o comportamento deste.

Apesar da pouca variabilidade média encontrada na umidade relativa do ar para o período analisado, observa-se, de modo geral, um comportamento de relação inversa entre os meses com maior umidade e menor ocorrência de incêndios florestais para todas subzonas. Em uma análise preliminar, pode-se afirmar que, em relação as subzonas, encontra-se, comumente, um maior número de ocorrências quando a subzona possui a menor média da umidade relativa do ar.

Na Figura 9 pode-se observar autocorrelação entre umidade relativa média mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

A análise do coeficiente de *Pearson* mostrou uma alta correlação negativa entre a umidade relativa média mensal e o número de incêndios médio mensal para a subzona 1 ($r = -0,683$; $p < 0,05$) e uma média correlação negativa para a área queimada média mensal ($r = -0,439$; $p < 0,05$). Fato similar ocorreu para as demais subzonas, considerando que para a subzona 2, a análise do coeficiente de *Pearson* revelou uma alta correlação negativa entre a umidade relativa média mensal e o número de incêndios médio mensal ($r = -0,590$, $p < 0,05$) e uma média correlação negativa para a área queimada ($r = -0,493$; $p < 0,05$). Para a subzona 3 identificou-se uma alta correlação negativa entre a umidade relativa média mensal e o número de incêndios médio mensal ($r = -0,716$, $p < 0,01$) e uma média correlação negativa para a área queimada média mensal ($r = -0,407$; $p < 0,05$).

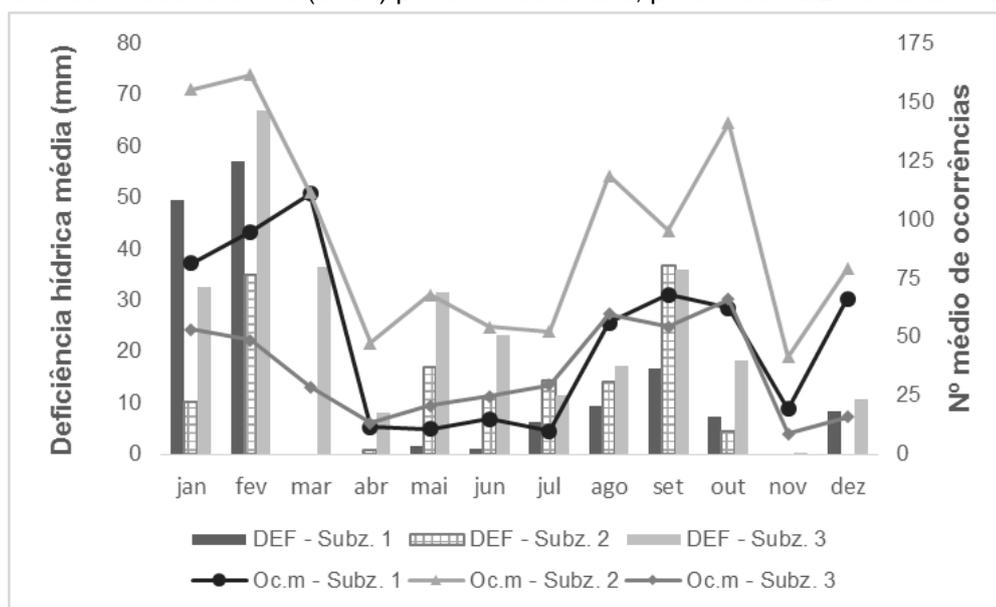
Em consonância com a análise bivariável retratada pelo coeficiente de *Pearson*, a correlação cruzada (Figura 9) apresentou correlação estatística negativa entre a umidade relativa média de cada mês e os incêndios florestais (número de ocorrências e área queimada) para ambas subzonas. Observa-se que existe uma ação imediata, de forma negativa, da umidade relativa média do mês frente aos incêndios florestais, ou seja, a umidade relativa média mensal desfavorece a ocorrência e as áreas queimadas pelos incêndios florestais dentro do próprio mês.

Também se observa a relação positiva encontrada em um período de retardo igual a dois meses para a subzona 1, igualmente observado na análise da

precipitação. Entretanto, acredita-se que essa relação seja causada pela alta relação existente entre precipitação e umidade relativa.

Na Figura 10 têm-se a distribuição da deficiência hídrica média e o número médio de ocorrências de incêndios florestais pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.

Figura 10 – Gráfico da distribuição da deficiência hídrica média (DEF) e o número médio de ocorrência de incêndios florestais (Oc.m) pelos meses do ano, para cada subzona na área de estudo.

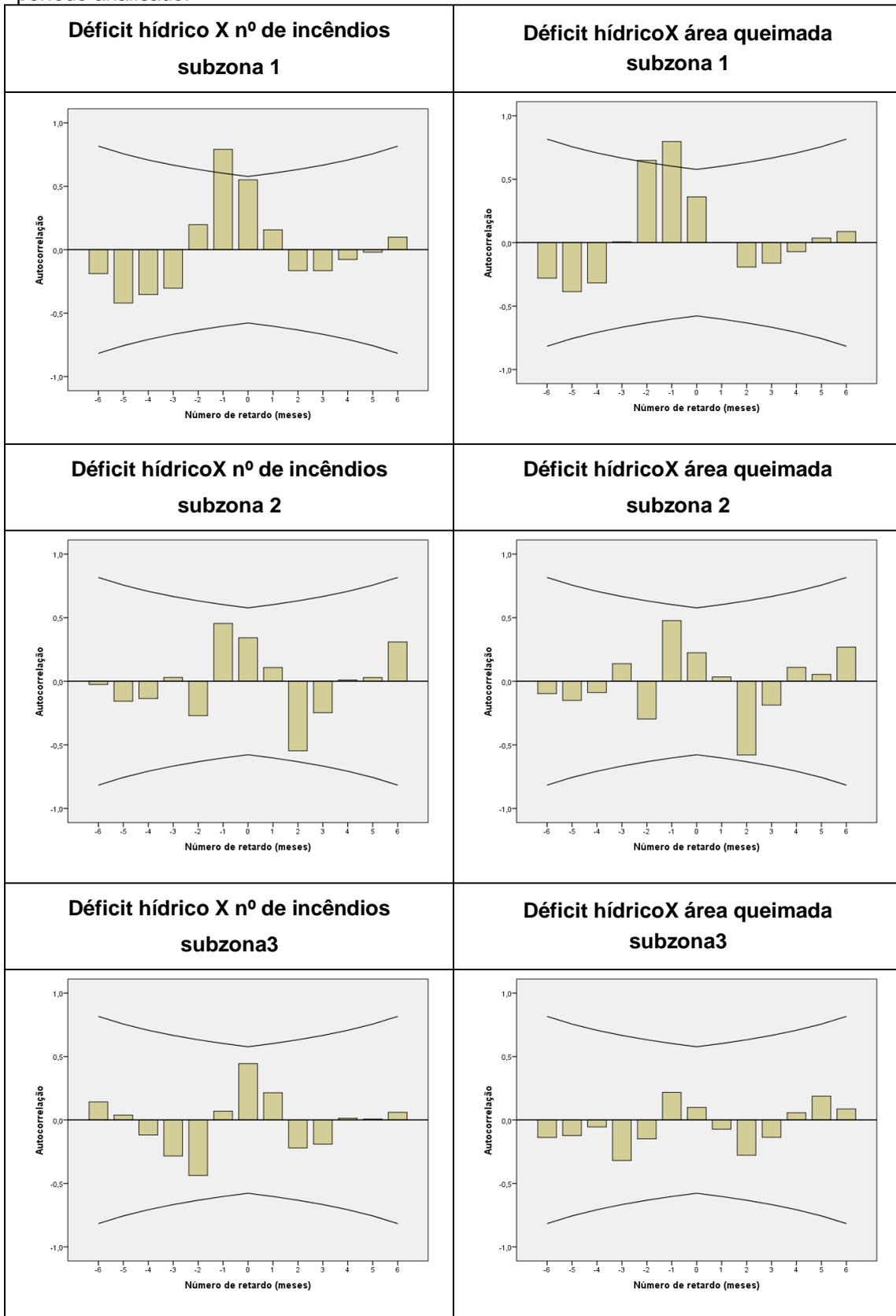


Fonte: o autor.

É possível notar que a subzona 3 apresenta os maiores valores de deficiência hídrica e de número de ocorrência de incêndios florestais, sendo que tal subzona possui a maior deficiência hídrica acumulada para a área de estudo com 292,0mm, seguida da subzona 1, com 157,5mm, e, por último, a subzona 2, com 143,6mm.

Com o início das chuvas no fim de março e abril, diminui esse déficit, porém, como a demanda da evapotranspiração e a baixa precipitação no período de maio a setembro, têm-se, para as subzonas, um aumento gradativo no déficit hídrico, o qual se eleva no mês de setembro, e praticamente chega a zero com as chuvas de novembro e dezembro, voltando a subir de forma abrupta nos meses de janeiro e fevereiro para as subzonas 1 e 3, e de forma gradativa para a subzona 2. Na Figura 11 têm-se os gráficos da autocorrelação entre déficit hídrico médio mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

Figura 11 – Gráficos da autocorrelação entre déficit hídrico médio mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.



Fonte: o autor.

Para todas as subzonas, o declive abrupto no número de ocorrências no mês de novembro pode ser explicado pelo fato de que as chuvas conseguem repor totalmente o déficit hídrico, formando um excedente hídrico, e, conseqüentemente, elevando disponibilidade de água para a planta, aumentando a umidade a nível de combustível.

Na análise estatística, identificou-se uma alta correlação positiva, em análise do coeficiente de *Pearson*, entre déficit hídrico médio mensal e o número de incêndios médio mensal para a subzona 1 ($r = 0,551$, $p < 0,05$) e uma média correlação positiva com a área queimada média mensal ($r = 0,362$, $p < 0,05$). Quanto maior foi o déficit, maior foi o número de ocorrências e de área queimada.

Já para as subzonas 2 e 3, a análise do coeficiente de *Pearson* revelou uma média correlação positiva entre o déficit hídrico médio mensal e o número de incêndios médio mensal ($r = 0,342$, $p < 0,05$; $r = 0,445$, $p < 0,05$) e para a área queimada média mensal, uma baixa correlação positiva ($r = 0,224$; $p < 0,05$; $r = 0,099$, $p < 0,05$). Na Figura 11 têm-se a autocorrelação entre o déficit hídrico médio mensal e os incêndios florestais (número de incêndios e área queimada) para as subzonas 1, 2 e 3, para cada mês dentro do período analisado.

Destaca-se uma correlação positiva entre a deficiência hídrica média e a ocorrência de incêndios florestais e sua área queimada, com antecipação de um mês, para a subzona 1. Fato similar acontece na subzona 2, entretanto não há representatividade estatística, já para a subzona 3 este fato não é notado.

Era esperado uma correlação positiva dentro do próprio mês, uma vez que a análise visual feita por meio da Figura 10, apontava que, quanto maior for a deficiência hídrica, maior seria o número de ocorrências. Entretanto, a análise de *Pearson* foi capaz de provar, apenas para a subzona 1, não ficando evidenciado tal fato para as demais subzonas.

Na Tabela 1, encontra-se o resultado do agrupamento realizado por intermédio do *cluster* hierárquico para a época de ocorrência de incêndios florestais para as subzonas de estudo e o número médio de ocorrências.

Tabela 1 – Número médio de ocorrência e definição da época (meses do ano) de ocorrência de incêndios florestais para as subzonas de estudo

Mês	Nº médio de ocorrências			O mês está na época de ocorrência?		
	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3
Janeiro	81,4	155,2	53,0	SIM	SIM	SIM
Fevereiro	94,8	161,6	48,6	SIM	SIM	SIM
Março	111,0	111,6	28,8	SIM	SIM	NÃO
Abril	11,6	47,4	13,4	NÃO	NÃO	NÃO
Mai	10,6	67,8	20,8	NÃO	NÃO	NÃO
Junho	15,0	54,2	24,6	NÃO	NÃO	NÃO
Julho	9,75	52,25	29,5	NÃO	NÃO	NÃO
Agosto	56,0	118,5	59,75	SIM	SIM	SIM
Setembro	67,8	101,2	54,4	SIM	SIM	SIM
Outubro	62,2	141,0	66,0	SIM	SIM	SIM
Novembro	19,2	41,6	8,8	NÃO	NÃO	NÃO
Dezembro	66,2	79,0	16,0	SIM	NÃO	NÃO

Fonte: o autor.

É possível verificar a existência de duas épocas de ocorrências dos incêndios florestais para ambas subzonas, sendo que a segunda época de incêndios para a todas as subzonas é idêntica, de agosto a outubro. Destaca-se também que a segunda época de ocorrência é de menor intensidade para as subzonas 1 e 2, e maior intensidade para a subzona 3.

A primeira época de ocorrência, varia entre as subzonas, sendo que, para a subzona 1, é de dezembro a março, para a subzona 2, é de janeiro a março e para a subzona 3, está nos meses de janeiro e fevereiro. Sendo, de maior intensidade para as subzonas 1 e 2.

A segunda época de incêndios florestais para as três subzonas da área de estudo é similar a descrita por Soares e Santos (2002), que afirmam que, os meses compreendidos entre julho e outubro, caracterizam o período de ocorrências florestais no Brasil.

Destaca-se também que os meses compreendidos entre meados de junho a outubro abrangem as épocas de ocorrência de incêndio florestal também no estado de Minas Gerais, conforme pode ser observado nos trabalhos de Lima (2000), Torres e Ribeiro (2008), Aximoff e Rodrigues (2011) e Magalhães et al. (2011). Para

o estado do Paraná também se observa esse fato, conforme pode ser visto nos trabalhos de Soares e Cordeiro (1974), Soares (1989), Soares e Santos (2002), Koproski et al. (2004), Soares et al. (2005), Rodríguez e Soares (2004), Vosgerau et al. (2006), Rodríguez et al (2013) e Tetto et al. (2012).

Os meses de entre julho a setembro, igualmente, são os com maior número de ocorrências de acordo com os trabalhos de Fiedler et al. (2006) e Parizotto et al. (2008), apesar de serem realizados em estados diferentes - Goiás e Santa Catarina, respectivamente. Já Milani (2000), afirma que a época de incêndios florestais no Amapá é entre os meses de agosto a novembro.

Fernandes et al. (2011) estudaram a susceptibilidade à ocorrência de incêndios florestais no estado do Rio de Janeiro e detectaram que a época propícia aos incêndios é de junho a agosto, o que coincide com a segunda época de incêndios para as subzonas deste estudo. Entretanto, os autores afirmam que a época com menor incidência é de dezembro a fevereiro, fato oposto ao encontrado no presente estudo, a qual seria a primeira época de incêndios florestais.

Na Tabela 2 é possível observar a distribuição das classes de tamanho e a porcentagem de ocorrências de incêndios florestais dentro de cada classe, para cada subzona na área de estudo.

Tabela 2 – Distribuição das ocorrências de incêndios florestais por classes de tamanho e porcentagem para cada subzona na área de estudo

Classe	Tamanho (ha)	% de ocorrências		
		Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3
I	< 0,1	13,50	22,07	24,20
II	0,1 - 4,0	64,92	61,66	61,80
III	4,1 - 40,0	21,37	16,17	13,60
IV	40,1 - 200,0	0,20	0,11	0,30
V	> 200,0	0,00	0,00	0,10

Fonte: o autor.

É importante, para o ponto de vista de conservação e financeiro, dentro da área de estudo, o maior agrupamento das ocorrências nas classes inferiores, uma vez que quanto menor for o tamanho de um incêndio florestal menor será o prejuízo por ele causado. Nota-se uma similaridade entre as subzonas, entretanto, ao analisar conforme o aspecto supracitado, a subzona 3 possui uma maior porcentagem dentro

das classes I e II somadas, 86,00%, quando comparadas as subzonas 1 e 2, 78,43% e 83,72%, respectivamente.

Magalhães et al. (2011) analisaram as ocorrências de incêndios no Parque Nacional Serra da Canastra, Minas Gerais, entre os anos de 1988 a 2008, os autores afirmam que as classes I e II somam apenas 9,59% das ocorrências, e que 90% das ocorrências registradas pertenceram às classes III e IV, o que é extremamente indesejável e se opõe totalmente aos valores encontrados no presente estudo.

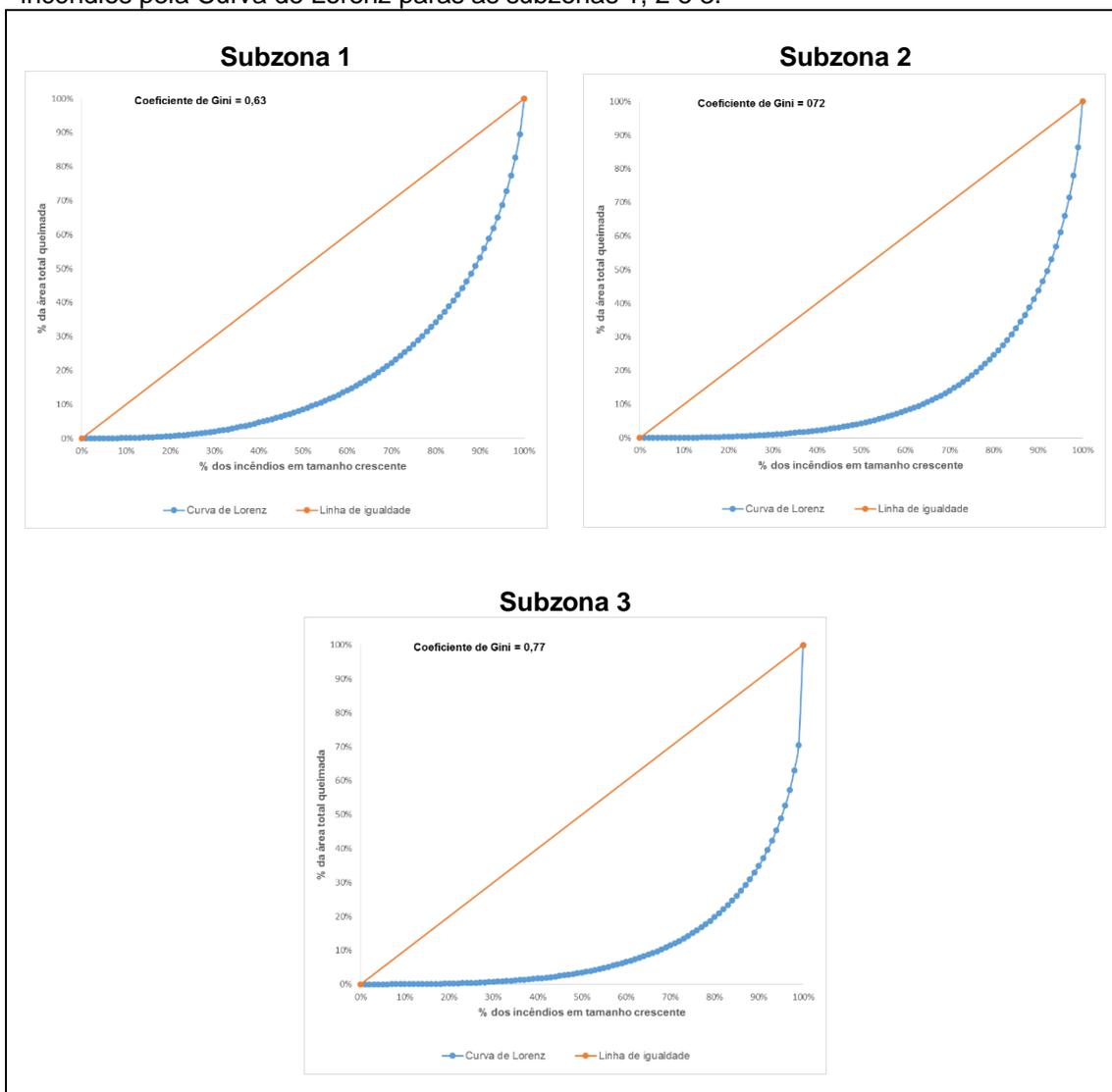
Tebaldi et al. (2013) ao analisar as ocorrências em Unidades de Conservação (UC) no Espírito Santo, observaram que 19% dos incêndios florestais encontram-se na classe I e 25% na classe II, valores muito aquém quando comparado ao presente estudo, uma vez que, o combate e mão de obra nas áreas de conservação apresentam déficits na maioria das UCs no país.

Rodríguez e Soares (2004) realizaram, entre os anos de 1998 a 2001, análise comparativa entre os incêndios em áreas de empresas florestais em Pinar del Río, Cuba, e Monte Alegre, Paraná, Brasil, e verificaram que 70,06% das ocorrências em Pinar del Río ficaram entre as classes I e II, abaixo do encontrado no presente estudo e 96,56% dos incêndios em Monte Alegre ficaram entre as classes I e II, sendo que 66,32% na classe I, valores muito bons e acima dos encontrados no presente estudo, principalmente ao analisar a classe I.

Para ambas subzonas, ao somar as duas classes, temos uma alta incidências de incêndios com menos de 4ha, esse fato pode estar relacionado diretamente com a eficiência no combate aos incêndios, conforme apontado por Lima e Soares (1992). Não obstante ao fato de se ter uma porcentagem de aproximadamente 80% para ambas subzonas com incêndios menores que 4ha, a importância econômica, social e ambiental que cada incêndio possui é incalculável, ratificando assim a necessidade contínua de estudos de prevenção, análise e combate dos mesmos.

Na Figura 11 têm-se a tamanho dos incêndios florestais por meio da Curva de Lorenz para cada subzona na área de estudo.

Figura 11 – Gráficos da distribuição do tamanho dos incêndios florestais em função do número de incêndios pela Curva de Lorenz para as subzonas 1, 2 e 3.



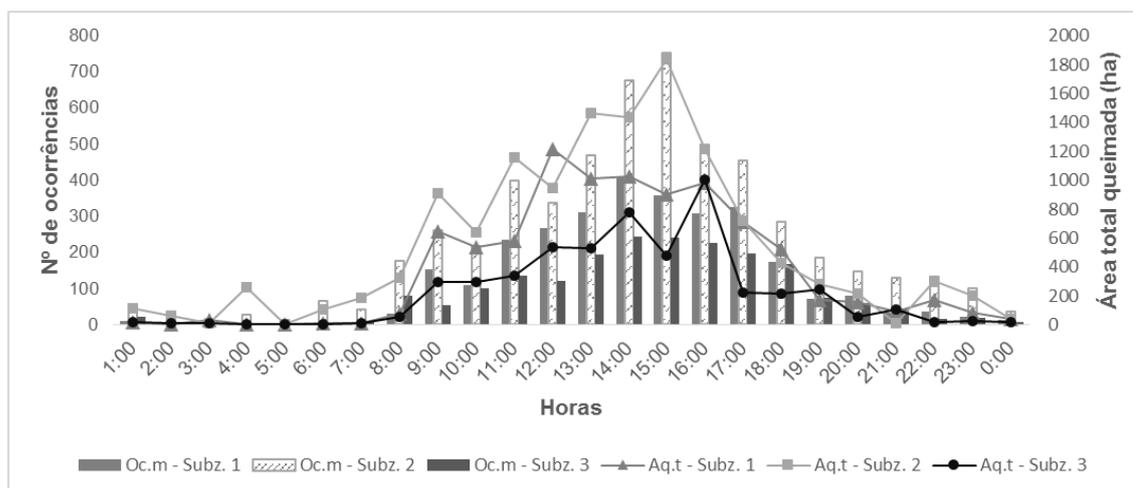
Fonte: o autor.

Conforme pode ser visualizado na Figura 11, a subzona 3 apresenta um maior afastamento da linha de igualdade, ou seja, há uma maior diferença entre os tamanhos de área queimada pelos incêndios dentro da subzona 3 comparados as subzonas 1 e 2. Este comportamento é ratificado ao observarmos o coeficiente de Gini, no qual, a subzona 3 apresenta um valor superior aos das subzonas 1 e 2, com valor de 0,77, 0,72 e 0,63, respectivamente. Ressalta-se que quanto mais próximo de zero, maior seria a igualdade entre as áreas queimadas por cada incêndio. Valores similares foram encontrados por Díaz-Delgado (2000), o qual obteve para a região da Catalunha, Espanha, um valor do coeficiente de Gini igual a 0,77.

Para a subzona 1, 60% dos incêndios ocorridos totalizaram 15% do total da área queimada, para a subzona 2, 70% dos incêndios queimaram aproximadamente 15% da área queimada total ao longo do período estudado e os outros 30% dos incêndios representam 85% de toda a área queimada. Já para a subzona 3, 75% dos incêndios foram responsáveis por apenas 15% de toda a área queimada. Resposta inferior ao que foi encontrado no estudo de Duguy (2003) para a região de Vall de Gallinera, Espanha, em que 80% dos incêndios representaram 4,3% do total da área queimada na região.

Na Figura 12 têm-se a distribuição horária do número de ocorrências totais de incêndios florestais e área total queimada para cada subzona na área de estudo.

Figura 12 – Gráfico da distribuição horária do número de ocorrências totais (Oc.t) de incêndios florestais e área total queimada (Aq.t) para cada subzona na área de estudo, sendo que: 01:00 hora = 01:00h à 01:59h



Fonte: o autor.

Em relação a distribuição do número total de ocorrência e total de área queimada, era de se esperar que a maior concentração fosse a partir das 13:00h, fato observado para ambas subzonas. Os valores de maior número de ocorrências para as subzonas 1 e 3, é entre as 14:00h e 15:00h, para a subzona 2 é entre as 15:00h e 16:00h, ou seja, uma hora de diferença.

Ao realizar o agrupamento das ocorrências entre as 12:00h e 17:00h, obtêm-se uma média de 50% das ocorrências nas subzonas 2 e 3, e de 56% para a subzona 1. Resultados similares foram encontrados por diversos autores, uma vez que está diretamente relacionado aos maiores valores diários de temperatura e menor

umidade relativa do ar, como pode ser visto nos trabalhos de Rodríguez e Soares (2004), Rodríguez (1999), Milani (2000), Tetto (2012) e Rodríguez et al (2013).

Salienta-se que, durante o horário compreendido entre as 00:00h às 06:00h, acontecem somente 0,8%, 2,7% e 2,1% dos incêndios nas subzonas 1, 2 e 3, respectivamente. Ainda que não seja objetivo do presente estudo fazer um teste de viabilidade da manutenção ou não de funcionários nas torres de observação de incêndios florestais durante os horários supracitados, é importante destacar essa questão para possível análise futura.

Para a quantidade de área queimada, nota-se uma pequena disparidade na sequência da subzona 2, 04:00h, provocada por um incêndio com maior área queimada durante a época estudada, todavia, há uma tendência dos maiores valores de área queimada total a partir das 13:00h. O estudo dos incêndios através das horas do dia, permite uma visão ampla de como os mesmos acontecem durante o dia. Com essa análise é possível afirmar que durante as 12 horas teóricas de iluminação solar, 6:00h às 18:00h, agrupam-se 91%, 85% e 87% das ocorrências dos incêndios florestais nas subzonas 1, 2 e 3, respectivamente.

Na Tabela 3 é possível observar a distribuição dos dias da semana e a porcentagem de ocorrências de incêndios florestais dentro de cada dia, para cada subzona na área de estudo.

Tabela 3 – Distribuição dos dias da semana e a porcentagem de ocorrências de incêndios florestais dentro de cada dia, para cada subzona na área de estudo

Dias da semana	% de ocorrências		
	Subzona 1 (%)	Subzona 2 (%)	Subzona 3 (%)
Segunda-feira	18,64	15,76	17,40
Terça-feira	11,75	15,19	14,74
Quarta-feira	11,68	12,43	13,75
Quinta-feira	14,35	15,52	12,47
Sexta-feira	14,79	11,66	14,88
Sábado	12,76	13,53	12,96
Domingo	16,04	15,91	13,80

Fonte: o autor.

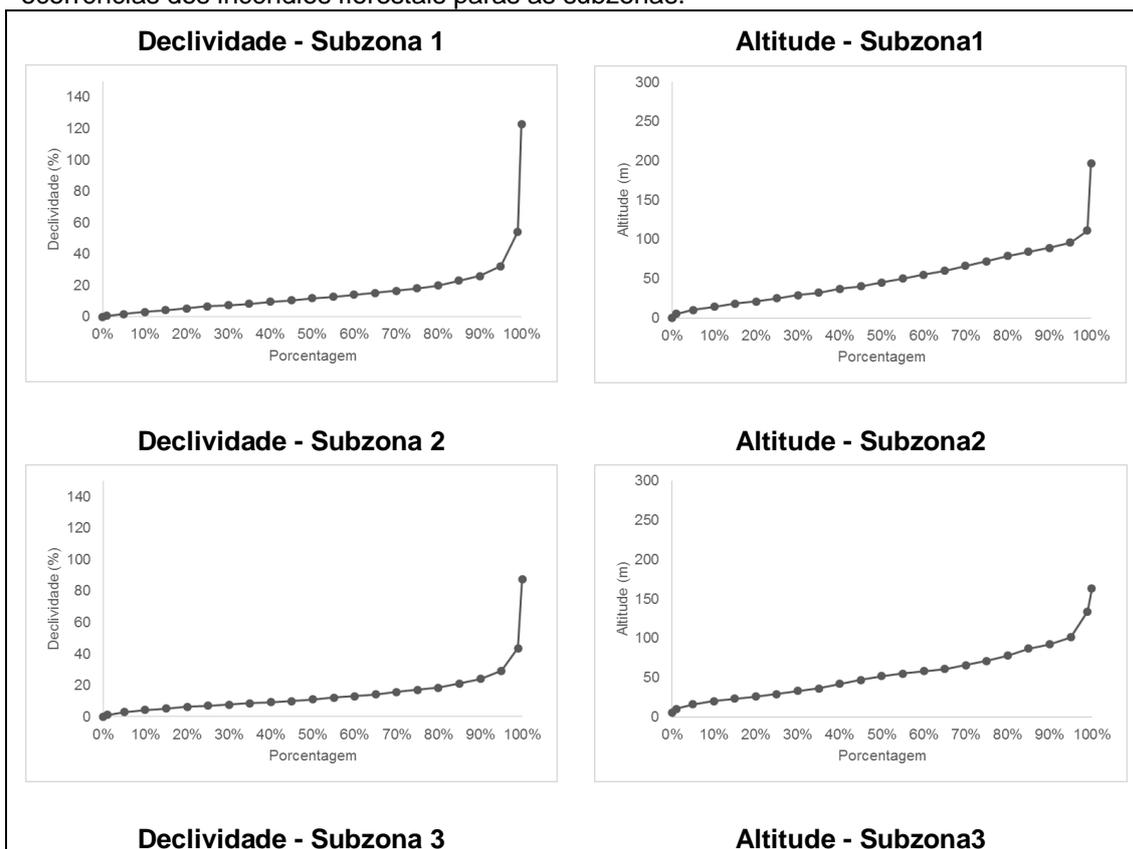
Realizou-se a análise dos dias da semana com maior incidência de ocorrência de incêndios florestais, para verificar a existência ou não de uma tendência de

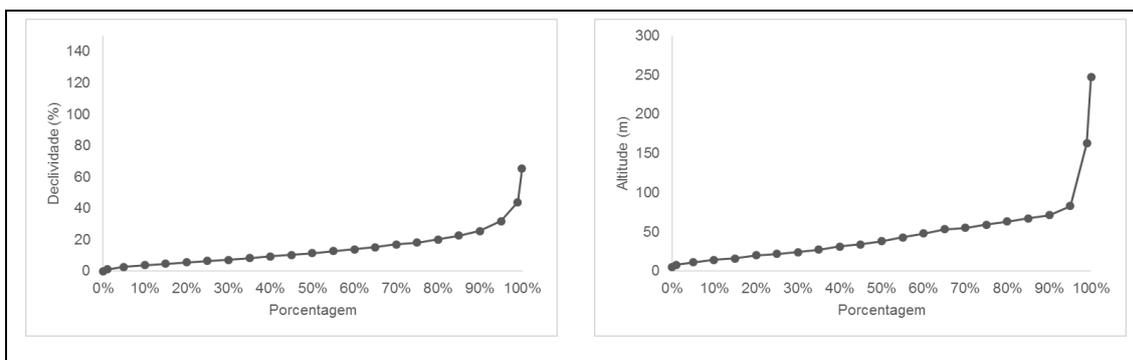
ocorrência maior nos finais de semana, uma vez que, como já descrito, a ocorrência de incêndios criminais na área de estudo é factível e ao tomar consciência dessa realidade era esperado uma maior ocorrência em dias que seria menor o número de funcionários em trabalho e maior ócio, os fins de semana.

Todavia, não encontrou essa tendência, apesar de que para a subzona 2 a maior porcentagem encontrada foi no domingo seguido da segunda-feira, entretanto, para as subzonas 1 e 3, os maiores valores encontrados foi para a segunda-feira, indo ao encontro dos trabalhos realizados por Tetto et al. (2012) e Rodríguez et al. (2013).

Em contrapartida, Rodríguez (1999) em Cuba, obteve maiores valores nos dias úteis, o que indicou que há relação entre a ocorrência de incêndios e as atividades florestais nesses dias. A distribuição dos incêndios florestais em relação a declividade e a altitude é apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Gráficos da distribuição da declividade (%) e da altitude (m) pela porcentagem de ocorrências dos incêndios florestais para as subzonas.





Fonte: o autor.

É possível visualizar que os maiores valores para a declividade foram observados na subzona 1, com declividade média igual a 18,46%, e os valores com a maior altitude para a subzona 1, com altitude média igual a 56,73m. Cerca de 90% dos incêndios florestais das subzonas, obtiveram valores próximos a 25% declividade, fato que vai de encontro ao proposto por Oliveira (2002), Ribeiro et al. (2008), Santos et al. (2010) e Eugenio et al. (2016), os quais, indicam que o maior risco de ocorrência de incêndios, alto risco, muito alto risco e extremo risco, são em áreas com declividades superiores a 25%. Em ambas subzonas 95% dos incêndios ocorreram em áreas com altitudes menores que 100 metros.

Cabe ressaltar que, a área de estudo, somando-se as subzonas, apresenta uma declividade média de 17,8% e, aproximadamente, 75% da área possui declividades inferiores a 26,3%. Em relação altitude, a área possuía média de 140m, e, aproximadamente 60% de toda a área possui altitudes inferiores a 100m, portanto, os valores encontrados estão de acordo com as condições físicas da área, uma vez que a área não apresentava variações muito grande de altitude e de declividade. Portanto, baseado nos valores encontrados da área de estudo, não era de se esperar um comportamento distinto.

A Tabela 4 contém da orientação do terreno a porcentagem de ocorrências de incêndios florestais para cada subzona na área de estudo.

Tabela 4 – Distribuição da orientação do terreno a porcentagem de ocorrências de incêndios florestais para cada subzona na área de estudo

Orientação do terreno	Subzona 1 (%)	Subzona 2 (%)	Subzona 3 (%)
N – NE (0° – 45°)	16,81	11,73	13,60
NE – E (45° - 90°)	14,08	13,52	11,98
E – SE (90° - 135°)	15,67	14,75	14,98
SE – S (135° - 180°)	14,85	18,76	18,24

S – SW (180° - 225°)	13,30	15,09	16,86
SW – W (225° - 270°)	12,39	12,30	8,87
W – NW (270° - 315°)	8,61	9,69	9,96
NW – N (315° - 360°)	4,29	4,15	5,52

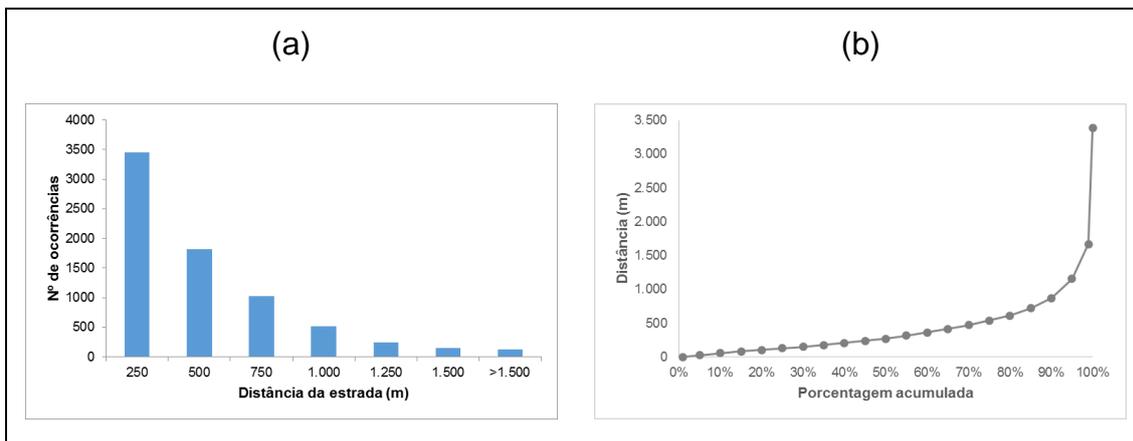
Fonte: o autor.

A orientação com maior ocorrência para as subzonas 2 e 3 é a SE – S (135° - 180°) com 18,76% e 18,24%, respectivamente, indo de encontro ao preconizado por diversos autores, tais como, Oliveira (2002), Ribeiro et al. (2008), Santos et al. (2010) e Eugenio et al. (2016), os quais relataram que em relação ao risco as faces NE, NW, W e N são as mais prováveis de ocorrências devido a maior incidência de radiação solar, entretanto, como observado na Tabela 4, essas faces somadas não representam 40% do número de ocorrência para ambas subzonas. Já para a subzona 1, a maior ocorrência está na face N – NE (0° – 45°), com 16,81%, entretanto, a soma das faces NE, NW, W e N, representam um pouco mais de 40% do número de ocorrências, ou seja, também vai de encontro o que é preconizado pelos autores supracitados. Como dito anteriormente, esse fato, era igualmente esperado, uma vez que a área de estudo pode ser considerada uma região quase plana.

Em relação a distância dos incêndios florestais às estradas, não foi possível fazer a avaliação por subzonas, uma vez que o mapa de estradas para a região norte da área de estudo, especificamente dentro do estado da Bahia, estava muito defasado, apresentando apenas as estradas federais. Devido à ausência de estradas vicinais no referido mapa, optou-se por não fazer o uso dessa base de dados, já que, poderia aumentar significativamente o desvio ocasionado pela distância entre a estrada e os incêndios florestais. Portanto, realizou-se a exclusão de todos os pontos que não estavam dentro do estado da Bahia, sendo aproximadamente 30% dos incêndios ocorridos na área de estudo.

A distribuição da distância encontrada entre os incêndios florestais e as estradas na área de estudo são apresentadas por meio da frequência e porcentagem acumulada na Figura 14.

Figura 14 – Gráficos da distribuição da frequência (a) e da porcentagem acumulada (b) em relação a distância entre as ocorrências dos incêndios florestais e as estradas na área de estudo.



Fonte: o autor.

Como pode ser observado, há um comportamento descendente em relação ao número de incêndios florestais em relação ao aumento da distância das estradas. Têm-se que 80% de todos os incêndios ocorreram em distâncias inferiores a 610m.

Chou et al. (1990) afirmam que o raio de risco em estradas é, em média, de 100m e varia de acordo com as características de cada região. Batista et al. (2002), Ribeiro et al. (2008), Ribeiro e Figueira (2011), Tetto et al (2012) e Eugenio et al. (2016) relatam que o raio com o maior risco de influência das estradas é de 50m para cada lado. No presente estudo, as distâncias entre 0-100m; 100,01-200m; e, 200,01-300m, apresentaram 19,14%; 19,79%; e, 14,54%, respectivamente, portanto, há um deslocamento da distância em relação aos autores supracitados, uma vez que, a distância que obteve maior concentração do número de ocorrências foi 100,01 a 200m. Assim, pode-se afirmar que, para a região de estudo, o raio de influência é de 300m, pois abrange, aproximadamente, 53,5% dos incêndios analisados.

A partir da pesquisa documental, foi possível analisar as principais causas de incêndios florestais catalogadas e divulgadas pela mídia no estado do Espírito Santo. As descrições dos jornalistas, em maior parte, os incêndios foram originados pela ação humana e agravados com o clima seco”, devido uma sequência de meses sem precipitação. Outro fato importante é que 75% dos incêndios ocorridos foram nos meses pertencentes as duas épocas relatadas no presente estudo.

4.3 Fire Weather Index (FWI)

Foram observados para a subzona 1, um conjunto de 1.909 dias com incêndios florestais e 13.967 dias sem incêndios florestais, distribuídos pelas 10 estações e

suas respectivas áreas de abrangência. Para a subzona 2, têm-se 2.289 dias com ocorrência de incêndios florestais registrados e 25.935 sem ocorrência, distribuídos pela rede de 16 estações meteorológicas. Portanto, há uma diferença grande entre dias com e sem incêndios florestais, o que pode interferir de maneira errônea na análise e interpretação dos dados de porcentagem de sucesso, uma vez que, os dias sem incêndios representam 87,98% e 91,89% do número total de dias analisados para a subzona 1 e 2, respectivamente.

Os resultados encontrados para a porcentagem de sucesso dos dias com e sem incêndio, geral e o teste de *skill score*, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 –Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe propostas por VanWagner (1987)

subzona	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>
	com incêndio	sem incêndio	geral	
1	86,50	61,43	62,06	0,0589
2	83,64	48,59	52,48	0,1180
3	87,65	48,53	50,93	0,0784

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, obteve-se um bom acerto dos dias que ocorreram incêndio, entretanto, os dias que não ocorreram incêndios não obtiveram bons resultados, motivo pelo qual, a porcentagem de sucesso geral foi reduzida. A análise dos valores encontrados pelo teste de *skill score*, reflete esse acerto reduzido, portanto, surge a necessidade do prosseguimento da metodologia, pois, acredita-se que pode ser definida melhores classes de acordo com a base de dados do local e, por consequência, obter uma melhora nos resultados.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados obtidos com as diferentes abordagens descritas na metodologia. Ressalta-se que todas as classes que foram originadas pelo percentil possuem as mesmas porcentagens para análise e as classes que foram originadas pela regressão logística possui sua equação.

Tabela 4 –Resultados encontrados para cada classe (id.) acompanhado da porcentagem ou equação utilizada, com os valores limites de FWI para as classes

Sub-zona	id.	porcentagens / equação	valores limites das classes (FWI)				
			baixa	média	alta	muito alta	extrema
1	A	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 7	7,1 – 12	12,1 – 17	17,1 – 27	>27
	B	$1/[1+\exp(-2,623+0,084 \times \text{FWI})]$	0 – 15	15,1 – 26	26,1 – 36	36,1 – 57	>57
	C	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 8	8,1 – 11	11,1 – 15	15,1 – 25	>25
	D	$1/[1+\exp(-2,852+0,115 \times \text{FWI})]$	0 – 13	13,1 – 21	21,1 – 28	28,1 – 44	>44
	E	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 7	7,1 – 11	11,1 – 14	14,1 – 25	>25
	F	$1/[1+\exp(-4,670+0,112 \times \text{FWI})]$	0 – 29	29,1 – 38	38,1 – 45	45,1 – 61	>61
2	G	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 9	9,1 – 14	14,1 – 18	18,1 – 27	>27
	H	$1/[1+\exp(-2,636+0,074 \times \text{FWI})]$	0 – 17	17,1 – 30	30,1 – 41	41,1 – 65	>65
	I	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 7	7,1 – 10	10,1 – 14	14,1 – 23	>23
	J	$1/[1+\exp(-2,530+0,059 \times \text{FWI})]$	0 – 19	19,1 – 36	36,1 – 50	50,1 – 80	>80
	K	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 7	7,1 – 10	10,1 – 14	14,1 – 24	>24
	L	$1/[1+\exp(-2,921+0,082 \times \text{FWI})]$	0 – 19	19,1 – 31	31,1 – 41	41,1 – 62	>62
3	M	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 9	9,1 – 14	14,1 – 19	19,1 – 30	>30
	N	$1/[1+\exp(-3,506+0,079 \times \text{FWI})]$	0 – 27	27,1 – 39	39,1 – 50	50,1 – 72	>72
	O	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 9	9,1 – 13	13,1 – 16	16,1 – 26	>26
	P	$1/[1+\exp(-3,306+0,080 \times \text{FWI})]$	0 – 24	24,1 – 36	36,1 – 46	46,1 – 69	>69
	Q	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 8	8,1 – 11	11,1 – 15	15,1 – 24	>24
	R	$1/[1+\exp(-3,713+0,095 \times \text{FWI})]$	0 – 24	24,1 – 35	35,1 – 43	43,1 – 62	>62

Fonte: o autor.

É possível identificar uma grande diferença entre os valores limites das classes originadas pelo método de percentil frente as classes originadas pelo método de regressão logística (Tabela 4). A diferença existente pode ser analisada por meio da sensibilidade entre as duas aproximações estatísticas utilizadas, sendo que, a regressão logística busca uma melhor aproximação ao conjunto de observações, já o percentil, abstrai da base de dados a porcentagem ou seja, divide a amostra de acordo com a porcentagem que o observador necessite.

Ao analisarmos, para a subzona 1, os valores limites da classe “baixa” obtida por meio da regressão logística, destaca-se o valor limite encontrado no id.F (FWI=29), esse mesmo valor abrange todos os limites da classe “muito alta” obtida por meio da análise de percentis de todos os id’s da subzona 1.

Os valores encontrados pela regressão logística assemelham-se aos do estudo de Dimitrikopoulos et al. (2011) para a região oriental do Mediterrâneo, os quais

dividiram em quatro classes o risco de incêndios florestal a partir da análise de FWI, sendo eles: baixo (0-38), moderado (39-48), alto (49-60) e extremo (>60).

Viegas et al. (2004) realizaram a calibração do sistema FWI para os distritos de Porto, Coimbra e Évora em Portugal. Os autores encontram os seguintes valores de limite das classes baixa, moderada, alta, muito alta e extrema, para a cidade de Porto: 10, 20, 35, 45 e acima de 45, para a cidade de Coimbra: 20, 30, 35, 45 e acima de 45 e para a cidade de Évora: 35, 45, 65, 75 e acima de 75, respectivamente, valores muito semelhantes aos encontrados no presente estudo para os id's advindos da análise de regressão logística.

Raíña e Fernandes (2002), também encontraram valores similares, para o Parque Natural de Montesinhos, em Portugal, a saber: valores de FWI para as classes, baixo risco (0 - 8,2), moderado risco (8,3 - 16,4), alto risco (16,5 - 32,9) e muito alto risco (> 33).

Por outro lado, os valores encontrados pela análise de percentis assemelham-se aos de Alexander et al. (1996) para Ontário no Canadá, os quais classificaram o risco em quatro subdivisões, sendo elas: baixo (0-5), moderado (6-12), alto (13-24) e extremo (>24).

Sturm et al. (2012) em uma área de manejo florestal na Eslovênia, encontram, por meio da regressão logística, os seguintes valores limites inferiores de classes, 0; 5,4; 10,7; 21,5 e 31,5, sendo os riscos, muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto, respectivamente, valores próximos a análise advinda do método de percentil para os id's do presente estudo.

É possível prever, com os valores limites das classes, que a análise de risco por meio da regressão logística irá englobar a maior quantidade de valores de FWI nas classes baixa e moderada, contrapondo-se os valores obtidos pela análise de percentis. Pode-se dizer que a análise por regressão logística é menos sensível para os valores mais baixos e pode superestimar as condições de baixo risco, o que pode gerar uma situação em que a qualificação do risco esteja baixa, e em realidade, o risco esteja muito alto. Ao contrário do que indica as classes encontradas pelo percentil, as quais, se aproximam mais do ideal.

Esse fato é comprovado pela análise dos resultados encontrados pela porcentagem de sucesso e teste de *skill score*, ambos demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 –Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe

Subzona	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>	
	com incêndio	sem incêndio	geral		
1	A	59,44	70,49	68,72	0,2047
	B	10,30	97,22	83,29	0,1080
	C	59,82	75,85	73,38	0,2591
	D	14,50	95,42	82,94	0,1318
	E	59,50	81,69	81,13	0,0976
	F	0,00	99,93	97,39	0,0000
2	G	58,60	69,95	68,16	0,1926
	H	2,25	98,01	64,44	0,0033
	I	63,08	61,18	61,43	0,1260
	J	0,16	99,58	86,46	0,0000
	K	62,46	67,71	67,13	0,1532
	L	2,25	99,19	88,45	0,0240
3	M	58,38	75,83	74,51	0,1575
	N	0,54	99,38	91,94	0,0000
	O	59,29	69,14	68,26	0,1271
	P	2,06	99,77	91,05	0,0322
	Q	60,93	72,75	72,03	0,1221
	R	1,90	99,64	93,63	0,0272

Fonte: o autor

A Tabela 5 possui diversas formas para ser analisada, pela porcentagem de sucesso, ou seja, porcentagem de acerto do modelo, para os dias que ocorreram incêndio, para os dias que não ocorreram, uma análise geral englobando todos os dias com ou sem incêndios e o teste de *skill score*.

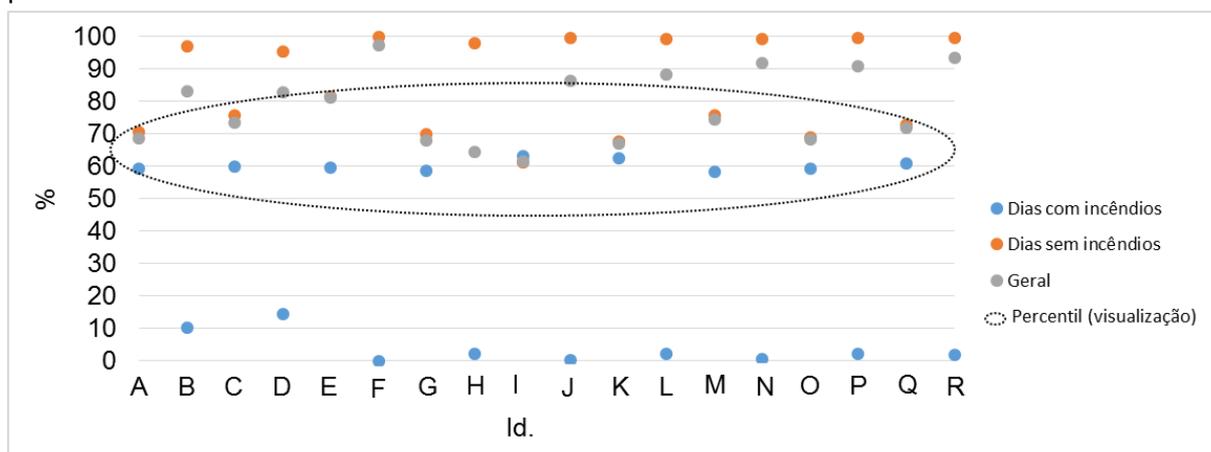
Ao analisarmos os valores encontrados nos diferentes id's por meio da porcentagem de sucesso geral, observa-se que para a subzona 1 o id. F acertou 97,39% dos dias analisados, para a subzona 2 o id. L acertou 88,45%, e para a subzona 3 o id. R acertou 93,63%, ou seja, o acerto chega próximo a “perfeição” para um modelo de risco, uma vez que, apenas com dados do clima, pôde-se obter valores extremamente altos de previsão. Entretanto, ao analisar o teste de *skill score*, têm-se valores péssimos, próximos ou igual a zero, para ambos id's. Portanto,

a análise prévia e superficial da porcentagem de sucesso geral pode levar a informações extremamente erradas.

Esses valores encontrados pelos id's F, L e R, refletem a situação da base de dados, onde há um desequilíbrio muito grande entre os dias com e os dias sem incêndios florestais, sendo, o número de dias em que não ocorrem incêndios significativamente superior quando comparados aos dias em que ocorreram incêndios. Tal constatação, tem reflexos diretos na análise de porcentagem, pois, quanto maior o valor de FWI para um dia ser considerado sem previsão de incêndio, associado ao maior o número de dias sem incêndios, têm-se uma situação em que, quanto mais dias englobados na classe sem previsão, maior será o acerto da mesma, chegando aos 100%.

Devido a existência de desproporcionalidade entre os dias com e sem incêndio florestal, os dias sem incêndios possuem maior “peso” na análise da porcentagem de sucesso geral, fazendo com que essa possua valores extremamente altos quando ocorre maior acerto nesta classe, fato constatado pelos id's F, L e R. Essa variação desproporcional entre dias com e sem incêndios pode ser visualizada na forma gráfica na Figura 2.

Figura 2—Gráfico da dispersão das porcentagens de acerto, dias com incêndio, sem incêndio e geral, pelos diferentes id's.



Fonte: o autor

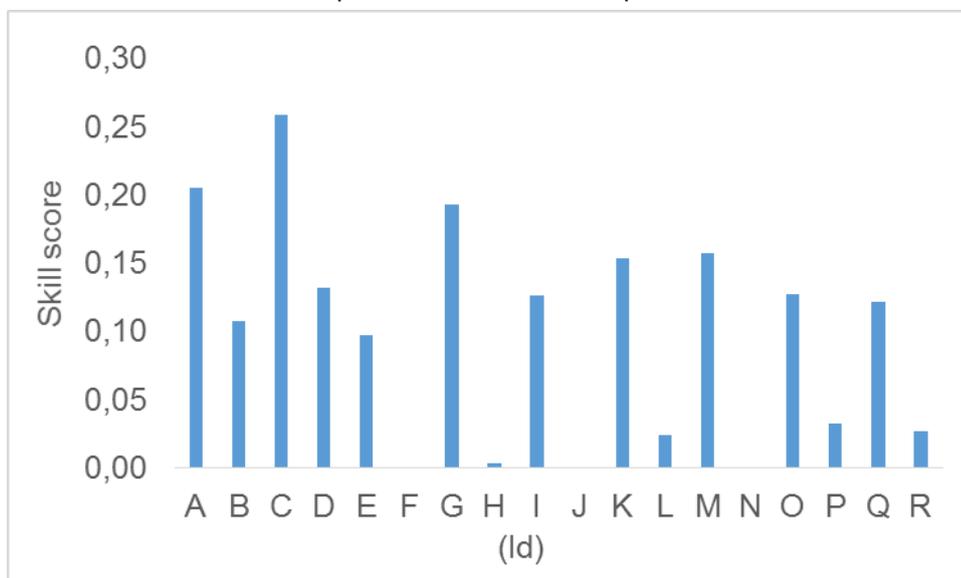
A partir da Figura 2 é possível detectar a variação abrupta entre as porcentagens de todos os id's originados da regressão logística. Registra-se os id's L e F o seu máximo de variação 0 a 100%, o que demonstra o quão falho é a utilização dos valores de classes pertencentes determinados nesses id's, uma vez

que, acerta todos os dias que não houve incêndio e erra todos os dias em que houve incêndio. Outro ponto a ser destacado na Figura 2, refere-se à proximidade entre as porcentagens de sucesso em todas as análises para os id's originados pela análise de percentil.

O trabalho realizado por Dimitrakopoulos et al. (2011), por meio da técnica de regressão logística, obteve para porcentagem de sucesso, 81,89% nos dias que não obtiveram incêndios, 76,11% nos dias que teve incêndios florestais e 79,17% de uma maneira geral. Considerando os resultados encontrados pelos autores, compreende-se que, apesar de alcançarem “maior acerto”, cabe ressaltar que a base de dados utilizadas por eles possuem grande diferença se comparada com a utilizada para o presente estudo, uma vez que o estudo destacado foi realizado em uma única estação e por um período de dois anos, além de se ter uma diferença pequena entre dias com e sem incêndios.

Nesta perspectiva, compreende-se que, quanto menor essa diferença, maior a possibilidade de acerto em uma regressão logística e posterior distribuição de probabilidade para as classes. Na Figura 3 é apresentada a variação dos valores obtidos pelo teste de *skill score* para os diferentes id's.

Figura 3 –Gráfico dos valores obtidos pelo teste de *skill score* para os diferentes id's.



Fonte: o autor.

Os maiores valores encontrados foram para os id's C e A, com 0,2591 e 0,2047, respectivamente, ambos pertencentes as análises da subzona 1, para a

subzona 2 o melhor valor encontrado foi de 0,1926 para o id. G, e para a subzona 3 o id. M com 0,1575.

Com as análises realizadas, é possível identificar que apesar dos valores de porcentagens de sucesso globais serem maiores para os id's advindos das análises de regressão logística, os mesmos apresentam os piores resultados para os dias com incêndio e também para o teste de *skill score*. Portanto, a escolha do melhor id para cada subzona, deve basear-se na combinação entre os valores de *skill score* e porcentagem de sucesso. Após as análises preliminares, realizou-se os testes estatísticos para verificar a existência ou não de diferenças entre os resultados obtidos com as classes dos diferentes id's.

Inicialmente, realizou-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo os mesmos normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100. Após a normalização dos valores, foi realizado o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk, conforme pode ser visualizado na Tabela 6. Sendo que, H_0 : A amostra provém de uma distribuição normal e, H_1 : A amostra não provém de uma distribuição normal. A Tabela 6 apresenta os valores dos resultados encontrados para o teste de *Tukey-Kramer*.

Tabela 6 – Resultados encontrados com o teste de Shapiro-Wilke Tukey-Kramer para os distintos id's

Subzona	Época	Método	Id.	Shapiro-Wilk	Tukey-Kramer
1	1	Percentil	A	0,203	20,60
		Regressão logística	B	0,401	13,58
	2	Percentil	C	0,128	22,84
		Regressão logística	D	0,057	14,73
	Total	Percentil	E	0,221	18,44
		Regressão logística	F	0,056	13,38
2	1	Percentil	G	0,336	24,84
		Regressão logística	H	0,216	9,10
	2	Percentil	I	0,462	21,27
		Regressão logística	J	0,059	8,70
	Total	Percentil	K	0,158	23,21
		Regressão logística	L	0,131	11,57
3	1	Percentil	M	0,077	23,87
		Regressão logística	N	0,057	10,40
	2	Percentil	O	0,221	21,73
		Regressão logística	P	0,302	11,47
	Total	Percentil	Q	0,312	22,05
		Regressão logística	R	0,192	11,30

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado, os id's apresentaram valores superiores a 0,05, portanto, aceita-se a hipótese nula, então a amostra provém de uma distribuição normal, exceto para os id's F, J e N, os quais, apresentaram valores menores que 0,05, portanto, foram eliminados das análises posteriores.

Com os dados que apresentaram distribuição normal para ambas subzonas, passou-se então para o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações, no presente caso, a igualdade entre os valores normalizados para cada id. Como o teste F, foi significativo, fez-se o teste *posthoc* de Tukey-Kramer, para comparar todos os id's entre si.

O teste de Tukey-Kramer foi realizado ao nível de significância igual a 0,05 e seu intervalo de confiança de 95%, e para ambas as subzonas a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a distribuição dos valores normalizados é a mesma entre os diferentes identificadores, para cada subzona. Portanto, a escolha do melhor identificador para cada subzona baseou-se na maior média encontrada. Como pode ser observado na Tabela 6, o maior valor médio para a subzona 1 foi o id.C com valor médio igual a 22,84, para a subzona 2 foi escolhido o id. G com valor médio igual a 24,84, e para a subzona 3 o id. M com 23,87.

Para a subzona1, verificou-se que ao se trabalhar com a época 2 de risco de incêndios florestais, obteve-se um maior acerto no total em relação a distribuição das classes, sendo assim, os valores de classes oriundos do id. G, o qual possui como limites das classes de risco os seguintes valores de FWI: 8, 11, 15, 25 e acima de 25, para as classes de baixo risco, moderado risco, alto risco, muito alto risco e risco extremo, respectivamente. Obteve, pelo teste de *skill score*, um valor de 0,2591, e para a porcentagem de sucesso, 59,82% de acerto nos dias que ocorreram incêndios, 75,85% dos dias que não ocorreram incêndios, 73,38% nos dias em geral.

Em relação a subzona 2 e subzona 3, verificou-se que ao se trabalhar com a época 1 de risco de incêndios florestais obteve-se um maior acerto no total em relação a distribuição das classes, sendo assim, foi escolhido os valores de classes oriundos do id. G para a subzona 2, e do id. M para a subzona 3, possuem como limites das classes de risco os seguintes valores de FWI: 9, 14, 18, 27 e acima de 27, e, FWI: 9, 14, 19, 30 e acima de 30, para as classes de baixo risco, moderado risco, alto risco, muito alto risco e risco extremo, respectivamente.

Obteve, para as subzonas 2 e 3, com seus id's G e M, pelo teste de *skill score*, um valor de 0,1926 e 0,1575, já para a porcentagem de sucesso, 58,60% e 58,38% de acerto nos dias que ocorreram incêndios, 69,95% e 75,83% nos dias que não ocorreram incêndios, e 68,16% e 74,51 nos dias em geral.

Os resultados encontrados nos id's escolhidos para as subzonas 1, 2 e 3, 0,2591; 0,1926; e 0,1575, respectivamente, são superiores aos encontrados por outros autores que trabalharam com riscos de incêndio no Brasil.

Sampaio (2009) em seu estudo para a região de Agudos, estado de São Paulo, realizou um comparativo entre diferentes índices de risco de incêndios florestais, entre eles o FWI. Os dados utilizados pelo autor compreendiam o período entre os anos de 1984 e 1995. Sampaio (2009) obteve como resposta do melhor índice, após ajustes, o FWI o qual apresentou no teste de *skill score* o valor de 0,1363, sendo inferior ao encontrado nas subzonas do presente estudo.

White et al. (2013) realizaram em seu trabalho um comparativo entre distintos índices de risco de incêndios florestais entre os anos de 2002 e 2009. Os autores utilizaram o banco de dados de incêndios florestais das plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia, Brasil, e obtiveram para o FWI um valor de 0,053 para o teste de *skill score*, valor muito aquém quando comparado aos resultados obtidos no presente estudo.

Borges et al. (2011), realizaram um estudo afim de verificar o desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no Norte do Espírito Santo entre os anos de 2003 e 2004. Os autores encontraram valores de *skill score* que variaram entre 0,1626 a 0,2055, valores próximos ao encontrados no presente estudo.

Em trabalho desenvolvido para regiões do Sul da Europa, Viegas et al. (s. d. apud SAMPAIO, 2009), encontraram valores do *skill score* para a região da província dos Alpes de Haut, correspondentes a 0,28 para o FWI, valor acima do encontrado no presente estudo.

Em relação a porcentagem de sucesso têm-se que, os resultados encontrados nos id's escolhidos para as subzonas 1 (73,38), 2(68,16) e 3 (74,51) são superiores aos encontrados por outros autores que trabalharam com riscos de incêndio no Brasil.

Em relação a porcentagem de sucesso, Sampaio (2009) obteve um valor de 52,81% para a região de Agudos, São Paulo, White et al. (2013) obtiveram para a PS o valor igual a 58,23%.

Borges et al. (2011) relataram uma variação para a porcentagem de sucesso entre os valores 51,54% e 56,47%. Todos os valores citados estão abaixo dos encontrados no presente estudo, que foram 74,35% e 70,20% para as subzonas 1 e 2, respectivamente.

Viegas et al. (s. d. apud SAMPAIO, 2009), encontraram valores da porcentagem de sucesso para regiões do Sul da Europa, correspondentes a 75,5% para o FWI, valor próximo ao encontrado para a presente região de estudo.

Desse modo, ressalta-se a importância do presente estudo, frente ao risco de incêndios florestais no Brasil, uma vez que ainda é possível melhorar o sistema FWI com a calibração de seus parâmetros. Portanto, acredita-se que, com estudos visando a calibração do sistema FWI, aliado a metodologia de identificação de classes do presente estudo, o acerto global do índice possa ser ainda mais superior em relação as demais metodologias de riscos de incêndio adotadas no Brasil.

4.4 Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA⁺)

Após o preparo da base de dados, realizou-se o cálculo dos riscos, para todas subzonas, e os classificou por meio das classes propostas por Nunes (2009). Os resultados encontrados para a porcentagem de sucesso dos dias com e sem incêndio, geral e o teste de *skill score*, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe propostas por Nunes (2009)

subzona	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>
	com incêndio	sem incêndio	geral	
1	87,36	47,08	51,88	0,1306
2	90,24	34,98	41,11	0,0779
3	92,41	37,26	40,64	0,0545

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, obteve-se um bom acerto dos dias que ocorreram incêndio, chegando a 92,41% na subzona 3, entretanto, ao se analisar os dias que não ocorreram incêndios, não se apresentam bons resultados, motivo pelo qual, a porcentagem de sucesso geral foi reduzida. A análise dos

valores encontrados pelo teste de *skill score*, reflete esse acerto reduzido, uma vez que foram números muito baixos, exceto para a subzona 1, portanto, surge a necessidade do prosseguimento da metodologia, pois, acredita-se que pode ser encontrada melhores classes, de acordo com a base de dados do local e, por consequência, obter um melhor acerto nos resultados de porcentagem de sucesso geral e *skill score*.

Na Tabela 3 encontram-se os resultados obtidos com as diferentes abordagens descritas na metodologia. Ressalta-se que todas as classes que foram originadas pelo percentil possuem as mesmas porcentagens para análise e as classes que foram originadas pela regressão logística possui sua equação.

Tabela 3 – Resultados encontrados para cadaid. acompanhado da porcentagem ou equação utilizada, com os valores limites de FMA⁺ para as classes

Sub-zona	id.	porcentagens / equação	valores limites das classes (FMA ⁺)				
			baixa	média	alta	muito alta	extrema
1	A	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 10	10,1 – 17	17,1 – 26	26,1 – 56	>56
	B	$1/[1+\exp(-2,462+0,024 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 28	28,1 – 94	94,1 – 148	148,1 – 267	>267
	C	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 13	13,1 – 20	20,1 – 30	30,1 – 65	>65
	D	$1/[1+\exp(-1,811+0,015 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 40	40,1 – 89	89,1 – 129	129,1 – 219	>219
	E	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 10	10,1 – 17	17,1 – 25	25,1 – 56	>56
	F	$1/[1+\exp(-2,180+0,020 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 45	45,1 – 86	86,1 – 120	120,1 – 194	>194
2	G	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 14	14,1 – 23	23,1 – 35	35,1 – 78	>78
	H	$1/[1+\exp(-2,398+0,013 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 44	44,1 – 101	101,1 – 149	149,1 – 254	>254
	I	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 14	14,1 – 22	22,1 – 32	32,1 – 59	>59
	J	$1/[1+\exp(-2,125+0,017 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 126	126,1 – 323	323,1 – 485	485,1 – 843	>843
	K	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 12	12,1 – 20	20,1 – 30	30,1 – 64	>64
	L	$1/[1+\exp(-2,018+0,005 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 78	78,1 – 153	153,1 – 216	216,1 – 354	>354
3	M	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 14	14,1 – 23	23,1 – 35	35,1 – 63	>63
	N	$1/[1+\exp(-3,168+0,020 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 66	66,1 – 105	105,1 – 138	138,1 – 209	>209
	O	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 14	14,1 – 23	23,1 – 34	34,1 – 60	>60
	P	$1/[1+\exp(-3,037+0,025 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 88	88,1 – 154	154,1 – 207	207,1 – 327	>327
	Q	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 14	14,1 – 22	22,1 – 31	31,1 – 59	>59
	R	$1/[1+\exp(-2,712+0,015 \times \text{FMA}^+)]$	0 – 89	89,1 – 138	138,1 – 179	179,1 – 268	>268

Fonte: o autor.

Com a análise da Tabela 3 é possível identificar uma grande diferença entre os valores limites das classes originadas pelo método de percentil frente as classes oriundas da regressão logística. Ao analisarmos os valores limites da classe “extrema” obtida por percentis têm-se que o maior valor é encontrado no id. G (FMA=78), esse mesmo valor é superado por todos os limites inferiores da classe “média” obtida por regressão logística, sendo seu menor valor no id. F (FMA=86).

Portanto, o menor valor limite das classes de percentis, é abaixo do valor considerado divisor de risco de incêndios florestais das classes definidas pela regressão logística para a FMA+. A análise dos resultados encontrados pela porcentagem de sucesso e teste de *skill score*, são demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe

Sub-zona	id	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>
		com incêndio	sem incêndio	geral	
1	A	60,29	65,30	64,35	0,1802
	B	0,91	97,92	79,61	0,0000
	C	58,31	71,17	69,18	0,1998
	D	1,81	97,52	82,75	0,0000
	E	61,39	72,50	71,18	0,1979
	F	1,54	98,66	87,09	0,0032
2	G	59,83	63,17	62,64	0,1408
	H	3,16	98,66	83,56	0,0286
	I	61,32	58,25	58,66	0,0979
	J	0,00	100,00	86,80	0,0000
	K	61,17	64,18	63,85	0,1214
	L	0,14	99,73	88,69	0,0000
3	M	58,29	73,05	71,94	0,1346
	N	0,00	99,74	92,23	0,0000
	O	59,59	64,29	63,87	0,0970
	P	0,59	99,80	90,95	0,0069
	Q	58,90	70,74	70,01	0,1023
	R	0,42	99,73	93,63	0,0028

Fonte: o autor.

Pode-se analisar a Tabela 4 de diversas formas, sendo pela porcentagem de sucesso, ou seja, porcentagem de acerto do modelo, para os dias que ocorreram incêndio, para os dias que não ocorreram, uma análise geral englobando todos os dias com sem incêndios ou, até mesmo, pelos valores obtidos com o teste de *skill score*.

Ao analisar os valores encontrados nos diferentes id's por meio da porcentagem de sucesso geral, têm-se que para os id's advindos da regressão

logística, as maiores porcentagens, como pode ser observado no id. B que possui 79,61%, sendo o mesmo, o menor valor entre os id's da regressão logística e ainda assim, supera em mais de 7% o maior valor encontrado nos id's baseados em percentil, id. M com 71,94%.

A análise dos valores encontrados na porcentagem de sucesso dos dias sem incêndios florestais, segue a mesma linha da porcentagem de sucesso geral, uma vez que o maior valor encontrado por um id. baseado em percentil é o id. M com 73,05%, frente ao menor valor encontrado por id. advindo da regressão logística id. D com 97,52%, sendo que possui id. com acerto total dos dias sem incêndios, id. J com 100%.

Em relação aos dias com incêndio, observa-se que o dia com menor valor de acerto para os id's referentes as classes de percentil, são sempre muito superiores aos da classe de regressão logística, chegando a superar 55% de diferença, id. M com 58,29% e id. H com 3,16%. Nota-se ainda que existe id's da regressão logística que não acertam nenhum dia com incêndio, como no caso dos ids. N e J com 0,00% de acerto.

Existe também uma diferença entre os valores encontrados no teste de *skill score* quando se compara os diferentes métodos para os limites de classe, sendo que, o menor valor do método por percentil, id. O, com 0,0970, sempre está acima do maior valor do encontrado nas classes de regressão logística, com seu maior valor no id.H com 0,0286. Há id's com valores iguais a zero, advindo da regressão logística, como no caso do id's B, D, J, L e N, o que reforça a importância da delimitação de classes de acordo com os resultados encontrados na área de estudo, em que se aplica a fórmula para cálculo da probabilidade de riscos de incêndios florestais.

Essa análise preliminar é parte fundamental para entender o comportamento das classes e de seus limites frente a uma população de valores de risco de incêndio florestal, uma vez que, a análise simplória, da porcentagem de sucesso geral, levaria ao fracasso do pesquisador, uma vez que, conforme relatado anteriormente, existe casos em que um alto acerto na porcentagem geral, não reflete a um acerto nos dias com incêndio.

Como no caso do id. J, em que se tem acerto de 100% dos dias sem incêndio e uma porcentagem de sucesso geral igual a 86,80%, entretanto, possui 0% de acerto dos dias com incêndio florestal e um valor de *skill score* de 0,0000. Ou seja, se o

pesquisador assume que esse seria o seu modelo, pois, teve alta porcentagem geral de acerto, o mesmo poderia também concluir que, não seria necessário nenhum modelo de risco de incêndio, pois, se o mesmo assumir a premissa de que não haverá incêndio em nenhum dia, o que traduz em um erro de 12,60% dos dias, entretanto, o pesquisador teria um acerto de 87,40%, quantidade de dias em que não se houve incêndio.

Não obstante, o contrário, acertos elevados em dias apenas com incêndio, leva-se a entender que em todos os dias ocorrerá um incêndio florestal. Neste caso, o percentual de erro seria aproximadamente de 90% dos dias. Tendo em consideração tais questões, entende-se que é inconteste a necessidade de uma avaliação estatística, com uma normalização dos dados, para inferência de qual modelo utilizar.

Após a análise dos resultados de maneira visual, realizou-se os testes estatísticos para verificar a existência ou não de diferenças entre os resultados obtidos com as classes dos diferentes id's.

Inicialmente, efetivou-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo os mesmos normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100. Após a normalização dos valores, foi realizado o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk. Sendo que, H_0 : A amostra provém de uma distribuição normal e, H_1 : A amostra não provém de uma distribuição normal (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados encontrados com o teste de Shapiro-Wilk e Tukey-Kramer para os distintos id's

Subzona	Época	Método	Id.	Shapiro-Wilk	Tukey-Kramer
1	1	Percentil	A	0,095	22,72
		Regressão logística	B	0,077	9,37
	2	Percentil	C	0,129	23,85
		Regressão logística	D	0,070	9,64
	Total	Percentil	E	0,064	24,36
		Regressão logística	F	0,055	8,45
2	1	Percentil	G	0,155	23,90
		Regressão logística	H	0,383	12,06
	2	Percentil	I	0,379	20,87
		Regressão logística	J	0,051	10,03
	Total	Percentil	K	0,092	22,96
		Regressão logística	L	0,054	10,05
3	1	Percentil	M	0,200	25,32
		Regressão logística	N	0,062	8,34
	2	Percentil	O	0,207	21,91

Total	Regressão logística	P	0,081	10,21
	Percentil	Q	0,137	22,84
	Regressão logística	R	0,057	9,23

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 5, os id's apresentaram valores superiores a 0,05, assim sendo, aceita-se a hipótese nula. A amostra provém de uma distribuição normal, exceto para os ids F, J, L, N e R os quais apresentam valores abaixo de 0,05, portanto, foram eliminados das análises posteriores.

Com os dados que apresentaram distribuição normal para ambas subzonas, passou-se então para o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações, no presente caso, a igualdade entre os valores normalizados para cada id. Como o teste F, foi significativo, fez-se o teste *posthoc* de Tukey-Kramer, para comparar todos os id's entre si. O resultado do teste pôde ser analisado na Tabela 5.

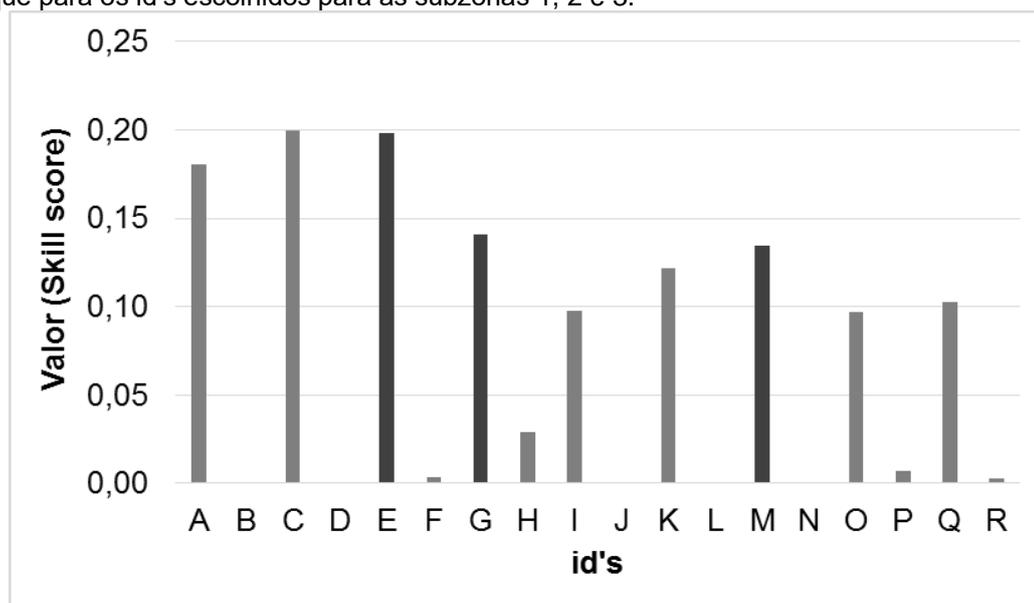
O teste de Tukey-Kramer foi realizado ao nível de significância igual a 0,05 e seu intervalo de confiança de 95%. Para ambas as subzonas a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a distribuição dos valores normalizados é a mesma entre os diferentes identificadores, para cada subzona. Portanto, a escolha do melhor identificador para cada subzona baseou-se na maior média encontrada.

Como pode ser observado na Tabela 6, o maior valor médio para a subzona 1 foi o id. E com valor médio igual a 24,06, para a subzona 2 foi escolhido o id. G com valor médio igual a 23,90, e já para a subzona 3 o id. M com 25,32.

Ao analisar o id. têm-se que o mesmo é proveniente da análise de percentil de todos os dias que ocorreram incêndios florestais na subzona 1, seu acerto para os dias que ocorreram incêndios florestais foi de 61,39% e para os dias que não ocorreram incêndios florestais foi de 72,50%, sendo sua porcentagem de sucesso igual a 71,18% e seu *skill score* de 0,1979. Para as subzonas 2 e 3, os ids. escolhidos foram o G e o M, ambos provenientes da época 1 de ocorrência de incêndios, com 59,83% e 58,29% de acerto dos dias em que ocorreram incêndios, 63,17% e 73,05% de acerto nos dias que não ocorreram incêndios, 62,24% e 71,94% de porcentagem de sucesso, e para o teste de *skill score* 0,1408 e 0,1346, respectivamente.

A variação dos valores do teste de *skill score*, entre os diferentes identificadores testados, são apresentadas graficamente na Figura 2.

Figura 2 – Valores do teste de *skill score* entre os diferentes identificadores (id's) testados, com destaque para os id's escolhidos para as subzonas 1, 2 e 3.



Fonte: o autor.

Há uma diferença visual entre os id's, pode-se agrupá-los em dois grupos para cada subzona. Os grupos advindos da metodologia de percentil, (A, C e E), (G, I, K) e (M, O, Q), com valores maiores do que os encontrados pelos originados pela regressão logística, (B, D e F), (H, J e L) e (N, P e R), os quais possuem os valores mais baixos.

Em relação ao teste de *skill score*, em ambas subzonas, os resultados encontrados no presente estudo são superiores aos encontrados por Nunes (2005), Nunes et al. (2006) e Nunes et al. (2010), para o distrito florestal de Monte Alegre no município Telêmaco Borba, estado do Paraná, Brasil, os quais obtiveram um valor de 0,1165 para o teste de *skill score*.

White et al. (2013) ao avaliar a FMA⁺ em áreas de plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia de florestas, no período de 01/01/2002 a 31/12/2009, encontraram um valor de *skill score* igual a 0,059 e White et al. (2015) para o período de 01/01/2002 à 31/12/2012, encontraram um valor de *skill score* igual a 0,05. Rodríguez et al. (2012) avaliaram o desempenho de índices de risco de ocorrência de incêndios florestais para as áreas da empresa florestal Macujire, em Cuba, durante o período compreendido entre janeiro de 2006 a dezembro de 2011, e obtiveram para a FMA⁺, no teste de *skill score*, o valor de 0,0737.

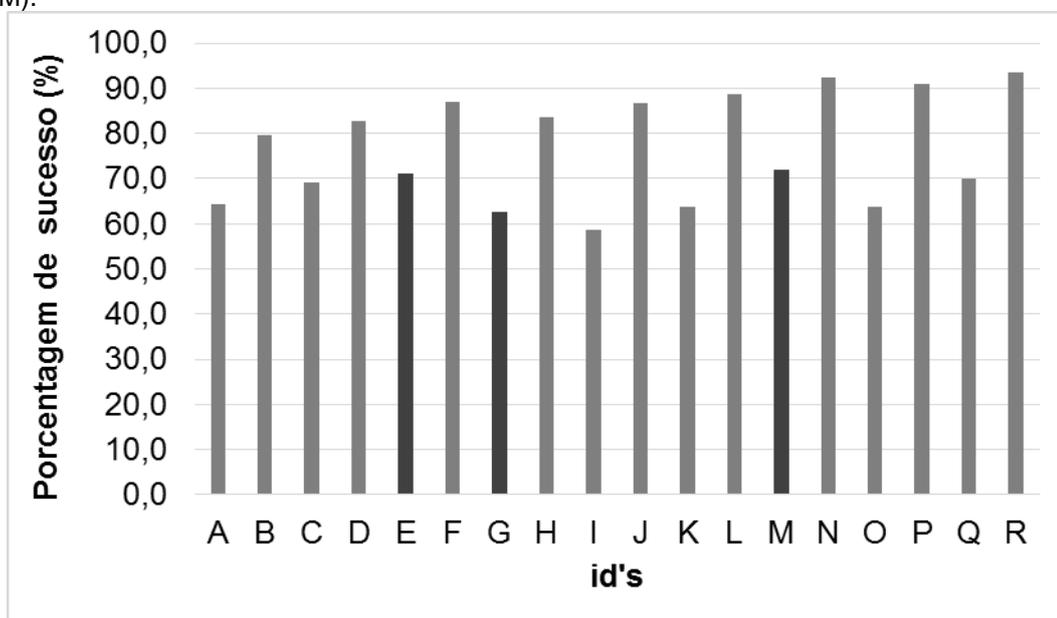
White (2010) dotou-se da FMA⁺ para calcular o risco de incêndios florestais entre o período 06/06/2008 à 08/11/2009, o autor descreve em seu estudo que para os incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra de Itabaiana, Sergipe,

Brasil, obteve um valor de *skill score* igual a 0,023, valor inferior quando comparado ao encontrado no presente estudo. Já para o estado do Sergipe e ao analisar os focos de calor, o autor encontrou um valor de 0,36, valor superior ao encontrado no presente estudo.

Os resultados do presente estudo foram um pouco abaixo quando comparados aos encontrados por Borges et al. (2011), que realizaram um estudo afim de verificar o desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no Norte do Espírito Santo entre os anos de 2003 e 2004, e encontraram valores de *skill score* que variaram entre 0,1626 a 0,2055. Souza (2014), ao avaliar o comportamento e ajustes dos índices de incêndio florestal para o município de Lages, no estado de Santa Catarina., obteve como resultado do teste de *skill score* valor de 0,1883, valor acima dos encontrados no presente estudo para as subzonas 2 e 3, e menor do encontrado para a subzona 1.

As variações dos valores da porcentagem de sucesso, entre os diferentes identificadores testados, são apresentadas graficamente na Figura 3.

Figura 3 – Valores da porcentagem de sucesso entre os diferentes identificadores (id's) testados, com destaque para os id's escolhidos para a subzona 1 (id=E), para a subzona 2 (id=G), e para a subzona 3 (id=M).



Fonte: o autor.

Também pode ser encontrada uma diferença visual entre os identificadores, pode-se agrupá-los em dois grupos para cada subzona. Os grupos advindos da metodologia de percentil, (A, C e E), (G, I, K) e (M, O, Q), com valores maiores do que os encontrados pelos originados pela regressão logística, (B, D e F), (H, J e L) e

(N, P e R), os quais possuem os valores mais baixos, para a porcentagem de sucesso global.

Em relação a porcentagem de sucesso obtida, em ambas subzonas, os resultados encontrados no presente estudo são superiores aos encontrados por Nunes (2005), Nunes et al. (2006) e Nunes et al. (2010), os quais obtiveram um valor de 55,64%.

Souza (2014) obteve em seu estudo 63,53% para a porcentagem de sucesso, no município de Lages em Santa Catarina, superior apenas ao encontrado na subzona 2 do presente estudo. Rodríguez et al. (2012) ao trabalhar com a FMA⁺ para áreas de uma empresa florestal em Cuba, obtiveram 57,10%, valor inferior ao encontrado em ambas subzonas do presente estudo.

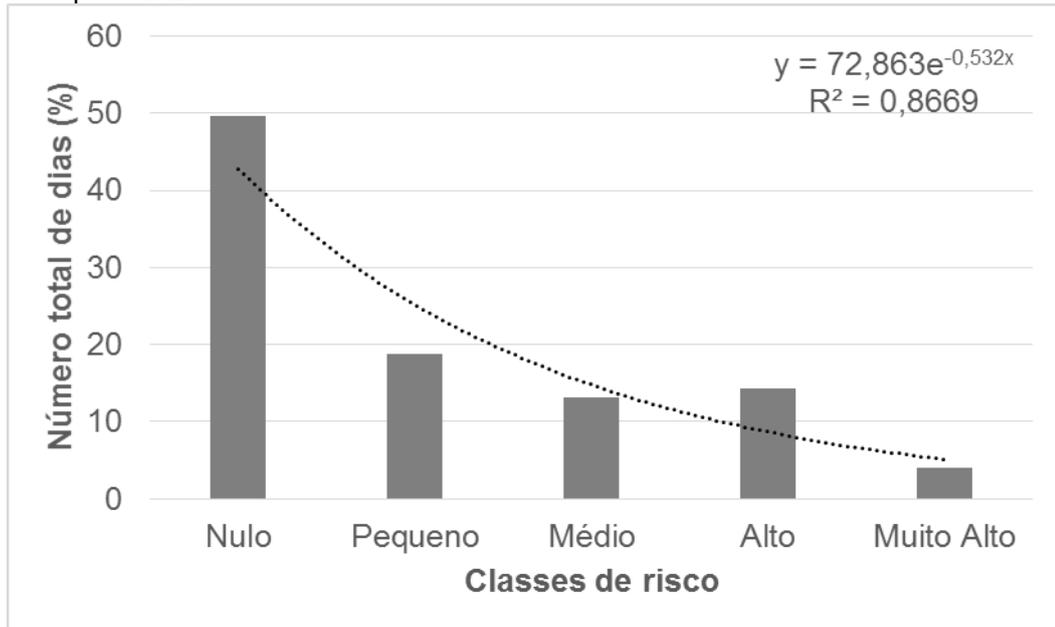
White (2010) obteve uma porcentagem de sucesso de 73%, quando analisou a FMA⁺ e os focos de calor para o estado de Sergipe, valor similar ao encontrado para as subzonas 1 e 3 do presente estudo, já para as ocorrências de incêndio do Parque Nacional da Serra de Itabaiana o valor encontrado foi de 48%, valor abaixo do encontrado nas subzonas do presente estudo. Borges et al. (2011) encontraram valores da porcentagem de sucesso que variaram entre 51,54 e 56,47%, indo de encontro ao encontrado no presente estudo, que teve como média 68,45%.

White et al. (2013) e White et al. (2015) obtiveram como resultado para a porcentagem de sucesso da FMA⁺, em áreas com plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia, um valor de 38,64% e 36%, respectivamente, valores muito abaixo do encontrado no presente estudo.

Excetuando-se o trabalho de White (2010), a média da porcentagem de sucesso encontrada no presente estudo foi maior do que a maioria dos estudos analisados, entretanto, para também verificar a metodologia descrita no trabalho de Nunes et al. (2009), foi feita a análise da curva decrescente em relação aos riscos.

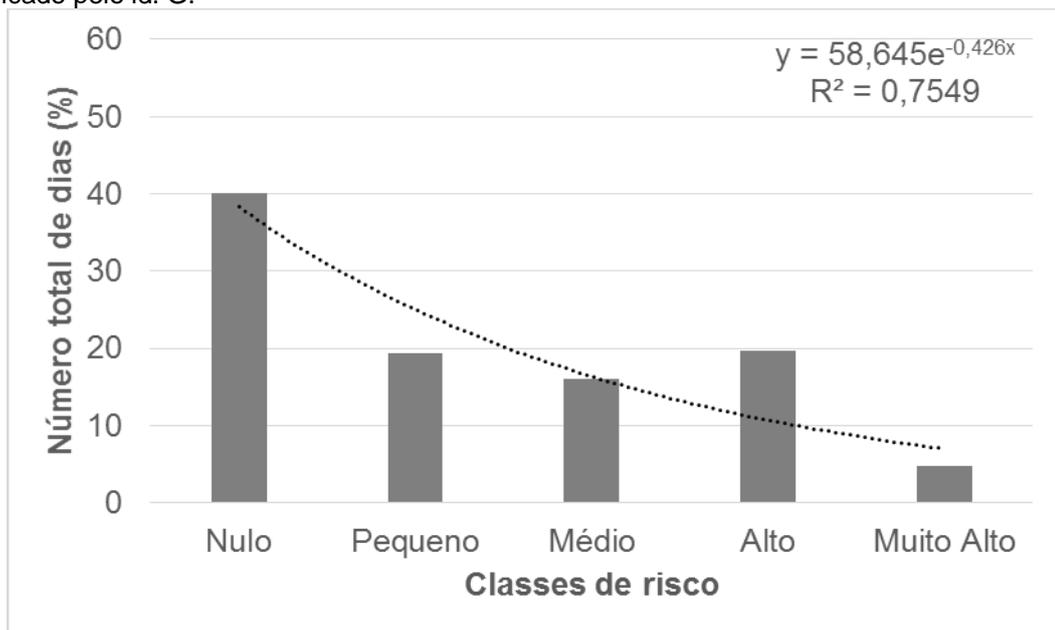
Nunes et al. (2009) relatam que que o número de dias previstos em cada classe de perigo deve ter uma relação inversa com a classe de perigo, de tal maneira que, quanto maior a classe de perigo, menor o número de dias previstos para ela, portanto, fez-se a análise com os dados obtidos por meio das classes dos id's E, G e M para as subzonas 1, 2 e 3, respectivamente, como pode ser observado nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 2 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 1 classificado pelo id. E.



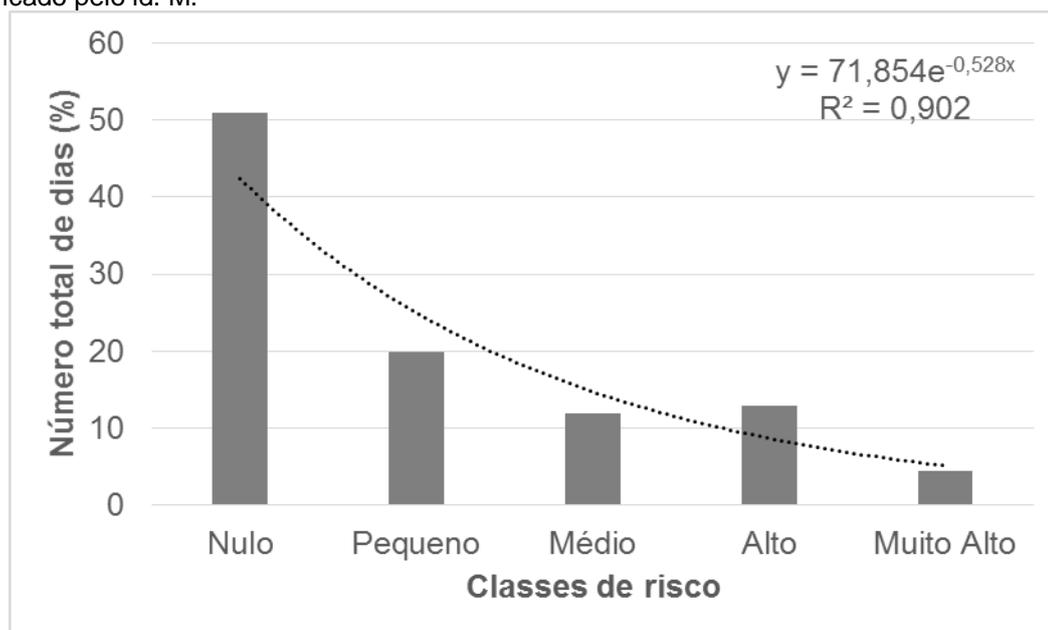
Fonte: o autor.

Figura 3 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 2 classificado pelo id. G.



Fonte: o autor.

Figura 4 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 2 classificado pelo id. M.



Fonte: o autor.

Como pode ser observado nas Figuras 2, 3 e 4, para ambas subzonas, existe uma relação inversa entre o número de dias previstos e as classes de perigo, sendo a classe de maior risco com o menor número de dias previsto. Salienta-se os valores de R^2 para ambas subzonas, 0,87; 0,75 e 0,90, respectivamente, advindos de uma função exponencial decrescente, indo ao encontro do que proposto pelo autor da FMA+.

Conforme relatado por Nunes et al. (2010), o desajuste observado em um risco de incêndio florestal é um fator que interfere em seu desempenho, sendo esse desajuste causado provavelmente pela mudança nos regimes de chuva e conseqüentemente de umidade relativa ao longo do tempo. Portanto, para que não haja uma utilização de um índice de perigo desajustado, o que poderá levar à tomada de decisões equivocadas em relação aos procedimentos de prevenção e combate aos incêndios florestais, faz-se necessário um ajuste prévio.

Portanto, o ajuste dos valores limites das classes realizados pela metodologia de percentil, equivale a um ganho substancial, quando comparado as classes de origem do índice, apresentados na Tabela 2, a qual possui uma média para porcentagem de sucesso geral de 45,54%. Assim como observado no presente estudo, obteve-se valores maiores para a porcentagem de sucesso e para o teste *skill score* quando comparados aos valores originais encontrados no desenvolvimento do índice.

Acredita-se que inúmeros trabalhos poderiam ser melhorados por um simples estudo de correção dos valores limites de classes para a prévia utilização da Fórmula de Monte Alegre modificada (FMA⁺) em áreas distintas à origem do risco.

4.5 Risco de Fogo (RF)

Os resultados encontrados para a porcentagem de dias de incêndios florestal em cada classe do risco de fogo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores em porcentagem do número total de dias com ocorrência de incêndios florestais para cada classe do risco de fogo, para cada subzona

classes de RF	porcentagem dentro da classe (%)		
	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3
Mínimo	15,05	18,88	31,63
Baixo	13,79	11,43	6,49
Médio	15,88	16,01	14,91
Alto	12,57	12,25	13,64
Crítico	42,71	41,43	33,33

Fonte: o autor.

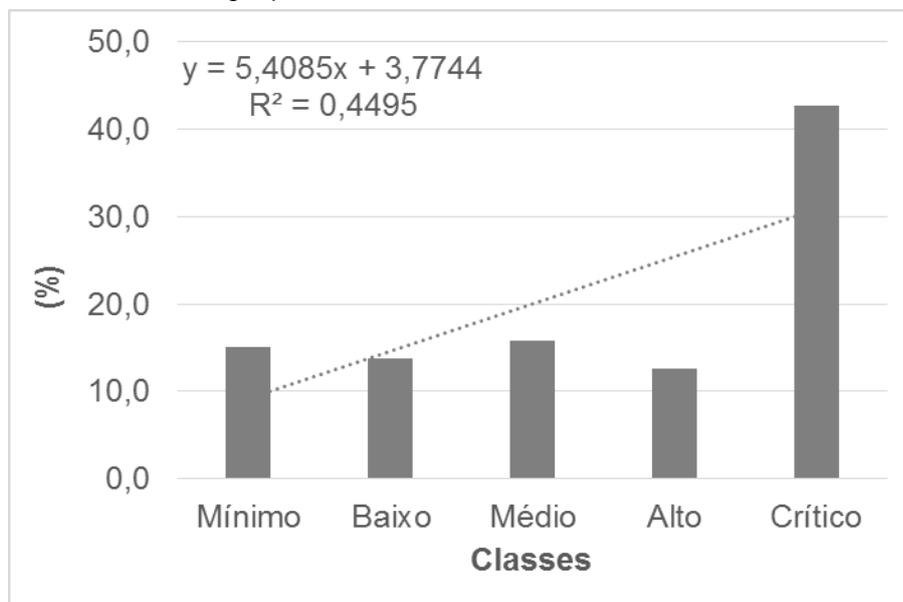
Observa-se que para a subzona 1 o menor valor foi para a classe alta com 12,57% dos dias que ocorreram incêndios florestais, para as subzonas 2 e 3 o menor valor aconteceu para a classe baixo com 11,43% e 6,49%, respectivamente, dos dias que ocorreram incêndios florestais. Para ambas subzonas a maior quantidade de dias encontrados foi na classe crítico com 42,71%, 41,43% e 33,33%, respectivamente, subzonas 1, 2 e 3.

Ao analisarmos em acertos e erros, pode-se agrupar as classes em dois grupos. O grupo erro seria o somatório das classes mínimo e baixo, pois, não se espera a ocorrência de um incêndio em estas classes e o grupo acerto seria o somatório das classes médio, alto e crítico, as quais traduzem em um maior risco, ou seja, maior chance de se ter a ocorrência de um incêndio florestal.

Para o grupo erro, as três subzonas obtiveram resultados similares, sendo que para a subzona 1 o grupo erro apresentou um total de 28,84% do total das ocorrências de incêndios florestais, a subzona 2 obteve 30,31% de erros. Já para a subzona 3 o erro foi maior com 38,12%. Em relação ao grupo acerto, consequentemente, obteve valores acima dos 60%, como pode ser visto para as subzonas 1, 2 e 3, com 71,16%; 69,69% e 61,88%, respectivamente.

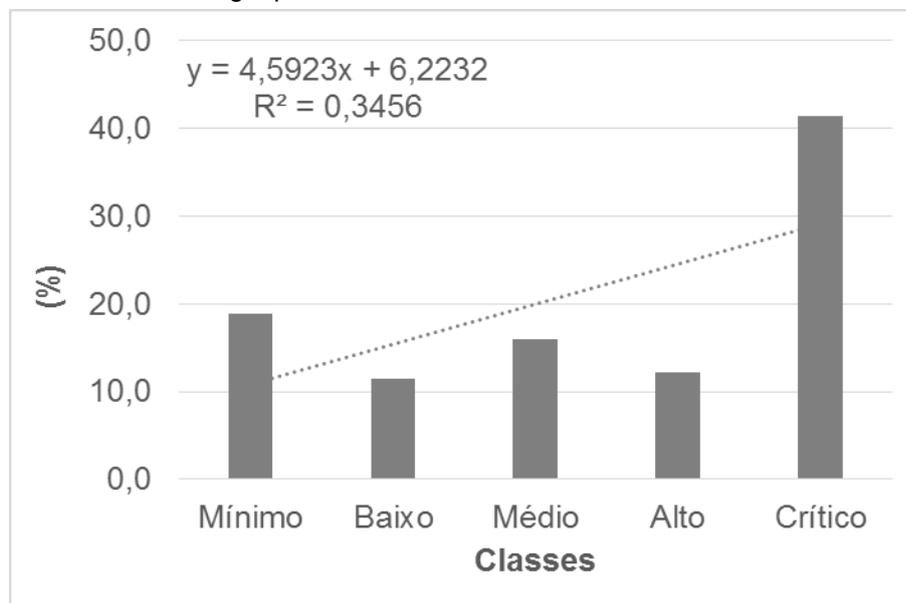
Nas Figuras 1, 2 e 3, são apresentados os números de dias de ocorrência de incêndio em relação as classes de risco de fogo.

Figura 1 – Gráfico da porcentagem do número total de dias com ocorrência de incêndios florestais para cada classe do risco de fogo, para a subzona 1.



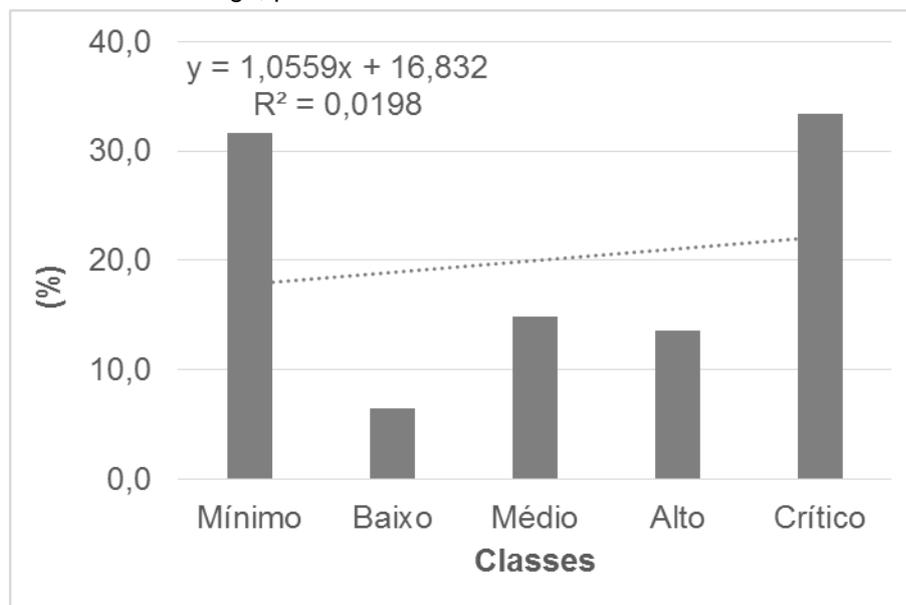
Fonte: ao autor.

Figura 2 – Gráfico da porcentagem do número total de dias com ocorrência de incêndios florestais para cada classe do risco de fogo, para a subzona 2.



Fonte: o autor.

Figura 3 – Gráfico da porcentagem do número total de dias com ocorrência de incêndios florestais para cada classe do risco de fogo, para a subzona 3.



Fonte: o autor.

Com a visualização das Figuras 1, 2 e 3 é possível constatar uma relação crescente dos dias que ocorreram incêndios florestais e as classes de risco. O que pode ser confirmado com as equações lineares ajustadas para a linha de tendência, as quais são positivas. Não obstante, os valores de R^2 são baixos, como pode ser visto nas subzonas 1, 2 e 3, com 0,45; 0,35 e 0,02, respectivamente.

Sismanoglu e Setzer (2014) relatam que para a região sudeste, no período compreendido entre janeiro de 2012 e junho de 2014 o nível crítico de risco de fogo oscilou entre 50% e 70% para as datas que ocorreram focos de calor, valores distintos ao presente estudo, onde obteve-se uma variação de 24% à 86%, e uma média de 60%.

Ao efetuar a análise da variação do risco de incêndio, Sismanoglu e Setzer (2014), baseando-se na sobreposição das classes médio, alto e crítica, os autores encontraram que o risco de fogo acumulado apresentou uma variação entre 80% e 95%, nos meses com maior ocorrência de focos de calor para o período analisado. O presente estudo teve como média na sobreposição dessas classes um valor médio igual a 54% para a época 1 de ocorrência, e de 73% para a época 2, abaixo do relatado pelos autores supracitados, entretanto, como é uma média, não é possível fazer uma correlação direta.

Cada subzona da área de estudo possui duas épocas de ocorrência de incêndios florestais distintas, sendo elas: para a subzona 1 (época 1: dezembro a março, e época 2: agosto a outubro), para a subzona 2 (época 1: janeiro a março, e época 2: agosto a outubro) e já para a subzona 3 (época 1: janeiro e fevereiro, e época 2: agosto a outubro), para melhor entender o comportamento do risco de fogo em cada época de ocorrência, realizou-se a média em relação aos meses analisados, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valor médio do risco de fogo (RF) em relação aos meses do ano para as subzonas 1, 2 e 3

meses do ano	valor médio do RF		
	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3
janeiro	0,60	0,50	0,40
fevereiro	0,75	0,57	0,49
março	0,77	0,68	0,40
abril	0,50	0,72	0,47
maio	0,68	0,81	0,66
junho	0,65	0,76	0,71
julho	0,77	0,71	0,61
agosto	0,86	0,85	0,81
setembro	0,86	0,82	0,68
outubro	0,56	0,65	0,52
novembro	0,45	0,33	0,17
dezembro	0,24	0,38	0,31

Fonte: o autor.

Como pode ser observado o maior valor encontrado para a subzona 1 foi para o mês de agosto e setembro, pertencente à época 2, com um valor médio de 0,86 e para a época 1 foi obtido a maior média para o mês de março com 0,77. Ao analisarmos as médias das épocas 1 e 2, temos 0,59 e 0,76, respectivamente, o que permite afirmar que o risco de fogo possui um melhor acerto para a época 2 de ocorrência de incêndios florestais na subzona 1. Vale ressaltar que as médias 0,56 e 0,73 estão acima do valor limite para definição do risco de ocorrência ou não de incêndios florestais, definido no presente estudo como grupo de acerto.

Para a subzona 2, têm-se que os meses com valores médios do risco de fogo mais elevado para as épocas 1 e 2 de ocorrência de incêndios florestais são também, os meses de março e agosto com 0,61 e 0,84, respectivamente. Ao realizar

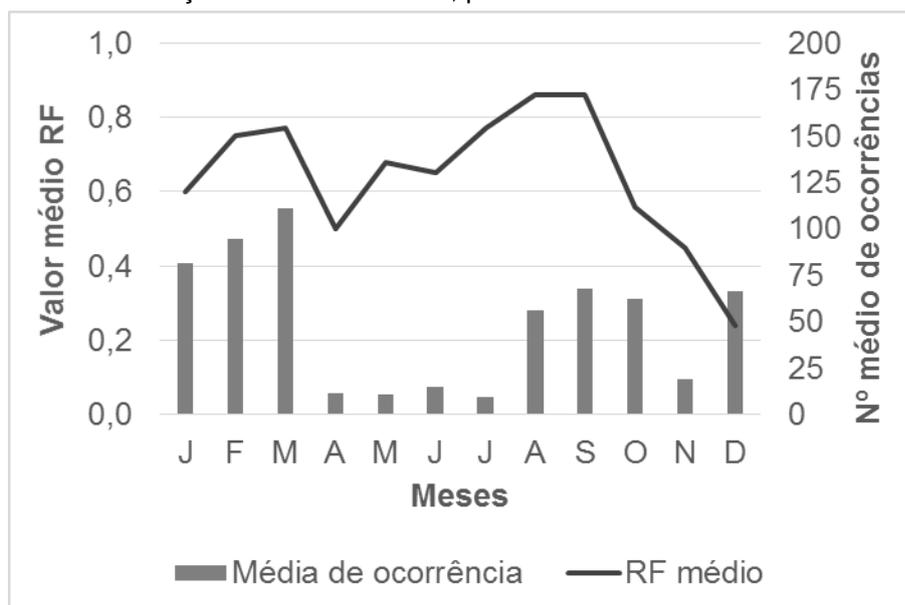
a análise das médias do valor de risco de fogo dentro das épocas 1 e 2 obteve-se os valores 0,58 e 0,77, respectivamente.

Já para a subzona 3, destaca-se a média dos valores de RF nas épocas 1 e 2 de ocorrência de incêndios florestais, com valores de RF médio iguais a 0,45 e 0,67, respectivamente. Como observado para a subzona 1, para a subzona 2 e agora para a subzona 3, ambas possuem comportamento similar, sendo a época 2 com maior previsibilidade e acerto em relação à ocorrência de incêndios florestais.

Outra questão relevante para a análise empreendida é a média muito baixa para o mês de dezembro na subzona 1, com o valor médio de RF igual 0,24, e para o mês de novembro para as subzonas 2 e 3, com valores de RF iguais a 0,33 e 0,17, respectivamente. Tal fato pode ser explicado pela deficiência hídrica nesses meses, uma vez que a deficiência hídrica é nula ou extremamente baixa por consequência do acúmulo da precipitação dos meses anteriores, impactando diretamente sobre o cálculo do RF.

Com a análise da Figura 3 é possível verificar a variação do valor médio do risco de fogo e do número médio de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano para a subzona 1.

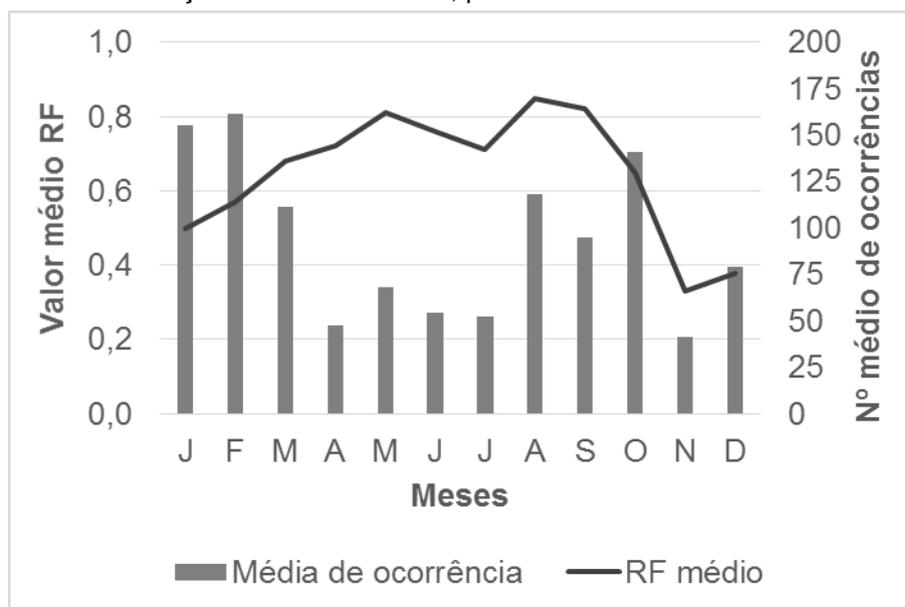
Figura 3 – Gráfico da variação do valor médio do risco de fogo (RF) e do número de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano, para a subzona 1



Fonte: o autor.

Nota-se que não há uma relação direta entre o comportamento, o número de ocorrência e o valor médio do risco de fogo, entretanto, excetuando-se os meses de novembro e dezembro, têm-se uma média superior ao valor 0,5. A Figura 4 apresenta a variação do valor médio do risco de fogo e do número de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano, para a subzona 2.

Figura 4 – Gráfico da variação do valor médio do risco de fogo (RF) e do número de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano, para a subzona 2



Fonte: o autor.

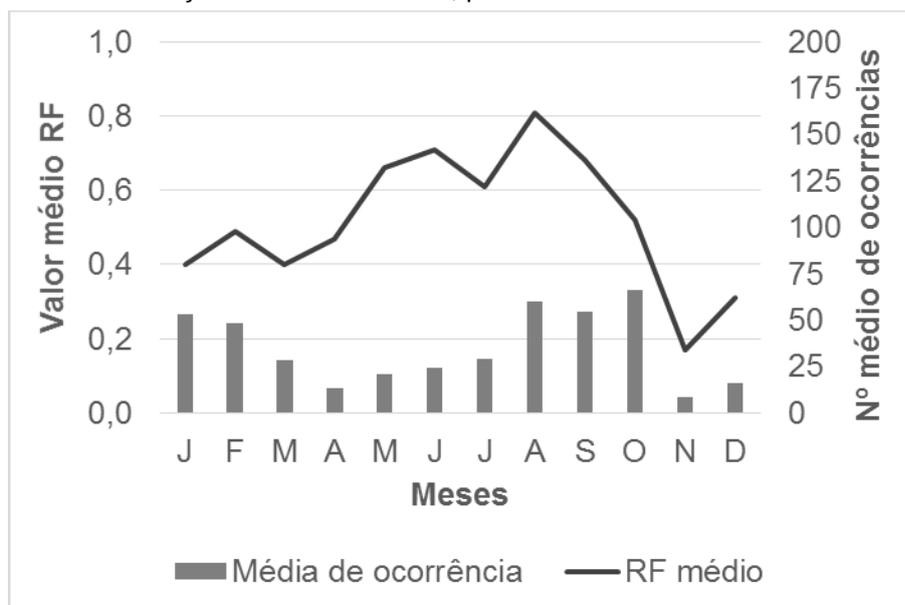
Como observado para a subzona 1, também não há um comportamento direto entre número de ocorrências e valor médio do risco de fogo para a subzona 2. Excetuando-se também os meses de novembro e dezembro, os demais meses apresentam médias do risco de fogo superiores a 0,50. É possível visualizar também que nos meses entre as épocas 1 e 2 de ocorrência de incêndio, abril a maio, o valor médio do risco de fogo é elevado, superior a 0,75, ou seja, o risco de fogo responde de forma eficaz também nos meses que não se há uma elevada ocorrência de incêndios.

O mês de novembro é o mês com o menor valor médio de risco de fogo com 0,33, para a subzona 2. Este fato poderia estar relacionado com a maior quantidade de precipitação (dados do capítulo 2 da presente tese), uma vez que, conforme relatado pelos criadores do índice, o princípio do risco de fogo é o de que quanto mais dias seguidos sem chuva, maior a probabilidade de um incêndio, associado ao fato de que o mês de novembro é o que possui a maior média pluviométrica da subzona 2. Indo ao encontro do que foi dito, o mês de agosto, com a maior média do

risco de fogo com 0,85, é o mês que apresenta uma das menores precipitações para a subzona 2.

A Figura 5 apresenta a variação do valor médio do risco de fogo e do número de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano, para a subzona 3.

Figura 5 – Gráfico da variação do valor médio do risco de fogo (RF) e do número de ocorrências de incêndios florestais em relação aos meses do ano, para a subzona 3.



Fonte: o autor.

Como pode ser visualizado na figura anterior, também não há uma relação direta entre número médio de ocorrências e valores médios de RF. Contudo, ressalta-se que os meses fora das épocas de ocorrência possuem um valor médio de RF de 0,48, ou seja, acima da média encontrada na época 1, com 0,45. Assim como já destacado ao longo deste trabalho, essa variação vem da fórmula de como é calculado o RF, e sua relação com os dias que não ocorrem precipitações na região.

Contudo, ressalta-se que a análise das médias do risco de fogo mensais contrapondo-se as precipitações médias acumuladas não é direta, ou seja, há médias elevadas em meses com precipitações também elevadas. Acredita-se que para uma maior e melhor correlação deve-se incluir o fator tamanho da área do incêndio e as causas da ocorrência, uma vez que, não se têm dados para a realização de tal análise no presente estudo.

Não foi possível verificar a porcentagem de sucesso, ou seja, a porcentagem de acerto do RF, uma vez que, não existia os dados de valores diários (somente os dados das datas que ocorreram incêndios). Tendo tal questão em consideração, destaca-se a necessidade de trabalhos futuros sobre o tema.

4.6 RIF-Database

Na Tabela 3 encontram-se os resultados obtidos com as diferentes abordagens descritas na metodologia. Ressalta-se que todas as classes que foram originadas pelo percentil possuem as mesmas porcentagens para análise e as classes que foram originadas pela regressão logística, possui sua equação.

Tabela 3 – Resultados encontrados para cada classe (id.) acompanhado da porcentagem ou equação utilizada, com os valores limites do sistema de base de dados *RIF-Database* para as classes

Sub-zona	id.	porcentagens / equação	valores limites das classes (<i>RIF-Database</i>)				
			baixa	média	alta	muito alta	extrema
1	A	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 51	51,1 – 59	59,1 – 67	67,1 – 83	>83
	B	$1/[1+\exp(-3,013+0,046 \times RIF-Database)]$	0 – 35	35,1 – 57	57,1 – 74	74,1 – 113	>113
	C	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 40	40,1 – 52	52,1 – 61	61,1 – 77	>77
	D	$1/[1+\exp(-3,255+0,050 \times RIF-Database)]$	0 – 37	37,1 – 57	57,1 – 73	73,1 – 109	>109
	E	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 44	44,1 – 55	55,1 – 64	64,1 – 81	>81
	F	$1/[1+\exp(-3,955+0,058 \times RIF-Database)]$	0 – 45	45,1 – 62	62,1 – 76	76,1 – 107	>107
2	G	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 54	54,1 – 63	63,1 – 74	74,1 – 93	>93
	H	$1/[1+\exp(-4,301+0,038 \times RIF-Database)]$	0 – 77	77,1 – 103	103,1 – 124	124,1 – 171	>171
	I	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 49	49,1 – 57	57,1 – 67	67,1 – 84	>84
	J	$1/[1+\exp(-3,665+0,038 \times RIF-Database)]$	0 – 60	60,1 – 86	86,1 – 107	107,1 – 154	>154
	K	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 47	47,1 – 57	57,1 – 65	65,1 – 84	>84
	L	$1/[1+\exp(-4,472+0,043 \times RIF-Database)]$	0 – 72	72,1 – 95	95,1 – 113	113,1 – 155	>155
3	M	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 54	54,1 – 63	63,1 – 70	70,1 – 89	>89
	N	$1/[1+\exp(-2,406+0,027 \times RIF-Database)]$	0 – 38	38,1 – 74	74,1 – 104	104,1 – 170	>170
	O	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 42	42,1 – 51	51,1 – 57	57,1 – 76	>76
	P	$1/[1+\exp(-2,117+0,022 \times RIF-Database)]$	0 – 33	33,1 – 78	78,1 – 115	115,1 – 196	>196
	Q	20%, 40%, 60% e 90%	0 – 43	43,1 – 53	53,1 – 62	62,1 – 81	>81
	R	$1/[1+\exp(-3,108+0,035 \times RIF-Database)]$	0 – 49	49,1 – 77	77,1 – 100	100,1 – 152	>152

Fonte: o autor.

Com a análise da Tabela 3 não é tão evidente a identificação de grandes diferenças entre os valores limites das classes originadas pelo método de percentil frente as classes originadas pelo método de regressão logística, contrapondo o observado nos Capítulos 2 e 3.

Ao analisarmos os valores limites da classe “extrema” obtida por meio da regressão logística têm-se são valores superiores aos encontrados nas classes oriundas de percentil, entretanto, os limites das classes “baixa” não apresenta diferença, variando entre as duas metodologias de obtenção das classes.

Também não é possível prever, com os valores limites das classes, que a análise de risco por meio da regressão logística irá englobar a maior quantidade de valores de risco, do sistema de base de dados *RIF-Database*, nas classes baixa e moderada, contrapondo-se os valores obtidos pela análise de percentis. Esse fato é comprovado pela análise dos resultados encontrados pelas porcentagens de sucesso e teste de *skill score*, ambos demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe

Sub-zona	id	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>
		com incêndio	sem incêndio	geral	
1	A	59,95	71,41	66,96	0,3109
	B	66,09	67,47	66,93	0,3254
	C	59,84	73,54	69,33	0,3167
	D	48,74	81,06	71,12	0,3053
	E	60,25	80,66	75,55	0,3857
	F	44,83	87,72	76,99	0,3467
2	G	59,17	68,47	67,35	0,1516
	H	0,00	100,00	88,00	0,0000
	I	59,59	63,98	63,18	0,1603
	J	5,40	97,25	80,50	0,0388
	K	58,41	72,34	70,88	0,1654
	L	2,06	99,41	89,21	0,0251
3	M	59,66	58,97	59,20	0,1682
	N	29,43	77,57	61,63	0,0747
	O	59,82	56,57	57,45	0,1323
	P	7,98	94,50	70,99	0,0327
	Q	60,19	65,87	64,66	0,1989

	R	13,50	93,69	76,51	0,0935
--	---	-------	-------	-------	--------

Fonte: o autor.

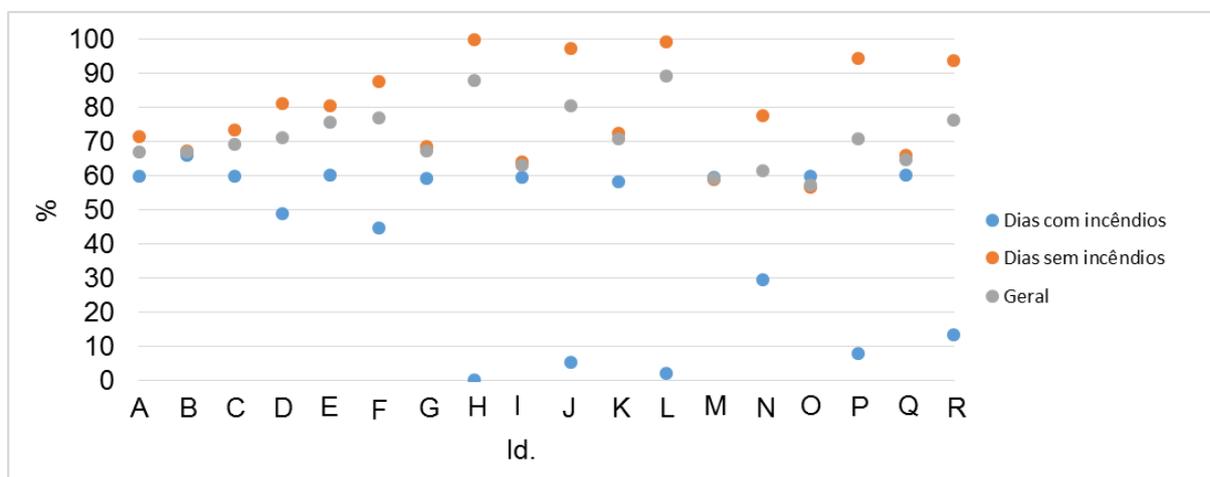
A Tabela 4 possui diversas formas para ser analisada, pela porcentagem de sucesso, ou seja, porcentagem de acerto do modelo, para os dias que ocorreram incêndio, para os dias que não ocorreram, uma análise geral englobando todos os dias com ou sem incêndios e o teste de *skill score*.

Ao analisarmos os valores encontrados nos diferentes id's por meio da porcentagem de sucesso geral, veremos que para a subzona 1 o id. F acertou 76,99% dos dias analisados, para a subzona 2 o id. L acertou 89,21%, e para a subzona 3 o id. R com 76,51%, ou seja, o acerto, para ambas subzonas, os acertos obtidos foram excelentes para um modelo de risco, uma vez que, apenas com dados do clima, pôde-se obter uma alta taxa de acerto geral com a previsão. Destaca-se que, ambos tiveram a divisão das classes pelo método da regressão logística.

Por outro lado, encontra-se, para estes id's F,L e R, valores muito aquém do esperado no acerto dos dias com incêndio florestal, 44,83%; 2,06% e 13,50%, respectivamente. Sendo que o id. L apresentou o segundo pior resultado entre todos os modelos testados, ($H = 0,00\%$), visando o acerto dos dias com incêndios florestais. O que novamente, reflete a situação da base de dados, onde há um desequilíbrio muito grande entre os dias com e os dias sem incêndios florestais.

Para uma visualização espacial desses valores e de sua dispersão, plotou-se as porcentagens de sucesso em um gráfico, presente na Figura 3.

Figura 3 – Dispersão das porcentagens de acerto, dias com incêndio, sem incêndio e geral, pelos diferentes id's.



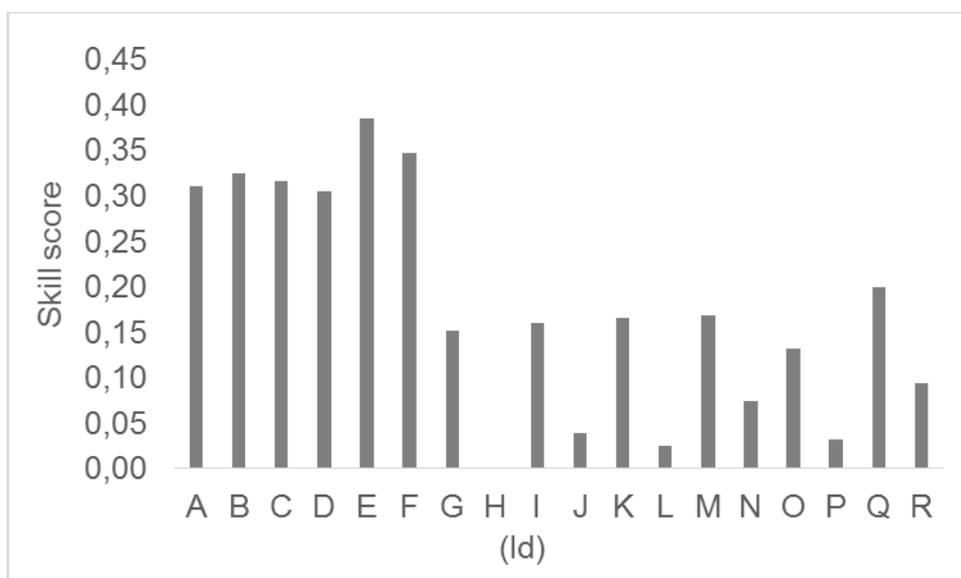
Fonte: o autor.

Com a visualização da Figura 3 é possível detectar a variação existente entre as porcentagens de sucesso dos dias com e dos dias sem incêndio em todos os id's originados da regressão logística, registra-se os id's F, H e P, para as subzonas 1, 2 e 3, os quais apresentam as maiores diferenças na porcentagem de sucesso dos dias com e sem incêndios, para cada subzona, com 42,89%; 100,00% e 86,52%, respectivamente. Esse fato, reflete na hora da escolha do modelo, uma vez que, deve-se buscar a análise estatística para evitar possíveis erros.

Outro ponto a se destacar na Figura 3 é a proximidade entre as porcentagens de sucesso em todas as análises para os id's originados pela análise de percentil. Onde temos as menores diferenças entre as porcentagens de sucesso dos dias com e sem incêndios florestais, nos id's B, I e M, com,1,38%; 4,39% e -0,69%, destacando-se que no id. M o acerto dos dias com incêndios supera os acertos dos dias sem incêndios florestais.

Na Figura 4 é apresentado a variação dos valores obtidos pelo teste de *skill score* para os diferentes id's.

Figura 4 – Valores obtidos pelo teste de *skill score* para os diferentes id's.



Fonte: o autor.

Os maiores valores encontrados foram para os id's E, K e Q, para as subzonas 1, 2 e 3, com 0,3857; 0,1654 e 0,1989, respectivamente. Destaca-se ainda que os menores valores de *skill score* encontrados são referentes aos id's advindos da regressão logística nas subzonas 2 e 3.

A partir das análises realizadas, pode-se identificar que, apesar dos valores de porcentagens de sucesso globais serem, geralmente, maiores para os id's advindos das análises de regressão logística, os mesmos apresentam os piores resultados para os dias com incêndio e também para o teste de *skill score*. Portanto, a escolha do melhor id para cada subzona, deve basear-se na combinação entre os valores de *skill score* e das porcentagens de sucesso.

Após essas análises preliminares, realizou-se os testes estatísticos para verificar a existência ou não de diferenças entre os resultados obtidos com as classes dos diferentes id's.

Inicialmente, realizou-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo os mesmos normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100. Após a normalização dos valores, foi realizado o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk, conforme pode ser visualizado na Tabela 5. Sendo que, H_0 : A amostra provém de uma distribuição normal e, H_1 : A amostra não provém de uma distribuição normal. A Tabela 5 também apresenta os valores dos resultados encontrados para o teste de *Tukey-Kramer*.

Tabela 5 – Resultados encontrados com o teste de Shapiro-Wilk para os distintos id's

Subzona	Época	Método	Id.	Shapiro-Wilk	Tukey-Kramer
1	1	Percentil	A	0,997	16,12
		Regressão logística	B	0,432	16,50
	2	Percentil	C	0,610	16,14
		Regressão logística	D	0,952	16,07
	Total	Percentil	E	0,859	18,12
		Regressão logística	F	0,411	17,05
2	1	Percentil	G	0,219	22,10
		Regressão logística	H	0,035	10,30
	2	Percentil	I	0,128	22,11
		Regressão logística	J	0,392	11,76
	Total	Percentil	K	0,077	23,01
		Regressão logística	L	0,138	11,25
3	1	Percentil	M	0,289	19,56
		Regressão logística	N	0,796	14,14
	2	Percentil	O	0,627	18,05
		Regressão logística	P	0,180	11,86
	Total	Percentil	Q	0,288	21,45
		Regressão logística	R	0,492	14,94

Fonte: o autor.

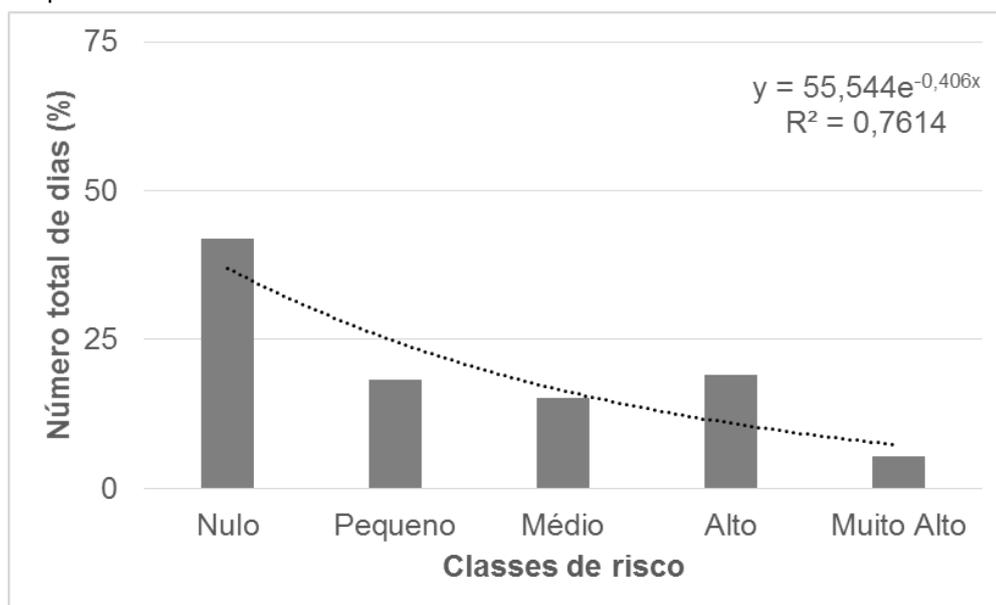
Conforme pode ser observado, os id's apresentaram valores superiores a 0,05, portanto, aceita-se a hipótese nula, então a amostra provém de uma distribuição normal.

Com os dados que apresentaram distribuição normal para ambas subzonas, passou-se então para o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações, no presente caso, a igualdade entre os valores normalizados para cada id. Como o teste F, foi significativo, fez-se o teste *posthoc* de Tukey-Kramer, para comparar todos os id's entre si.

O teste de Tukey-Kramer foi realizado ao nível de significância igual a 0,05 e seu intervalo de confiança de 95%, e para ambas as subzonas a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a distribuição dos valores normalizados é a mesma entre os diferentes identificadores, para cada subzona. Portanto, a escolha do melhor identificador para cada subzona baseou-se na maior média encontrada.

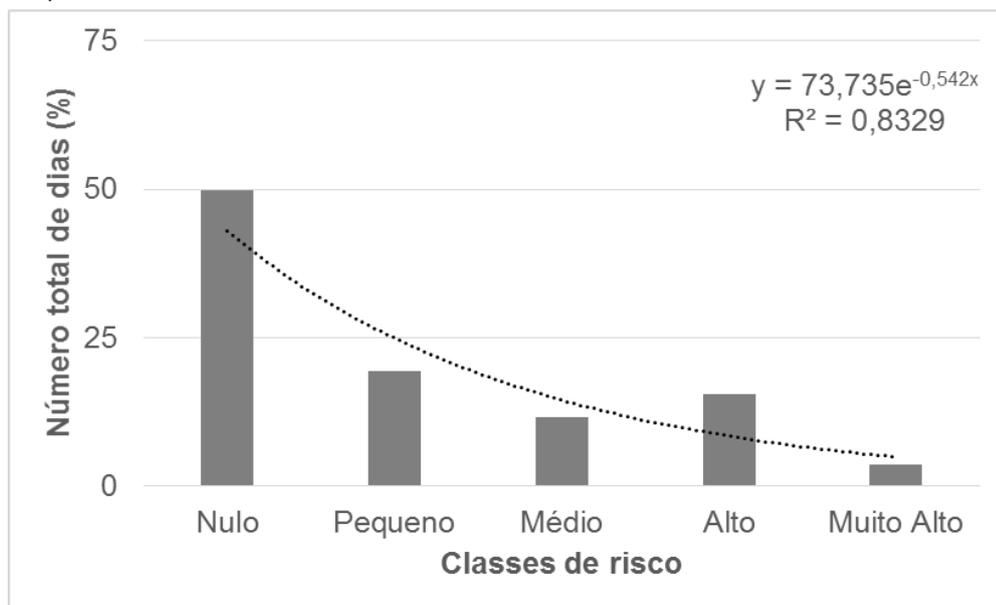
Como pode ser observado na Tabela 5, o maior valor médio para a subzona 1 foi o id. E com valor médio igual a 18,12, para a subzona 2 o id. K com 23,01, já para a subzona 3 foi escolhido o id. Q com valor médio igual a 21,45. Para ambas subzonas não houve melhoria quanto a definição dos valores ao analisar as épocas de ocorrência. Para observar o padrão das classes de risco, fez-se a análise com os dados obtidos por meio das classes dos id's E, K e Q para as subzonas 1, 2 e 3, respectivamente, como pode ser observado na Figura 5, 6 e 7.

Figura 5 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 1 classificado pelo id. E.



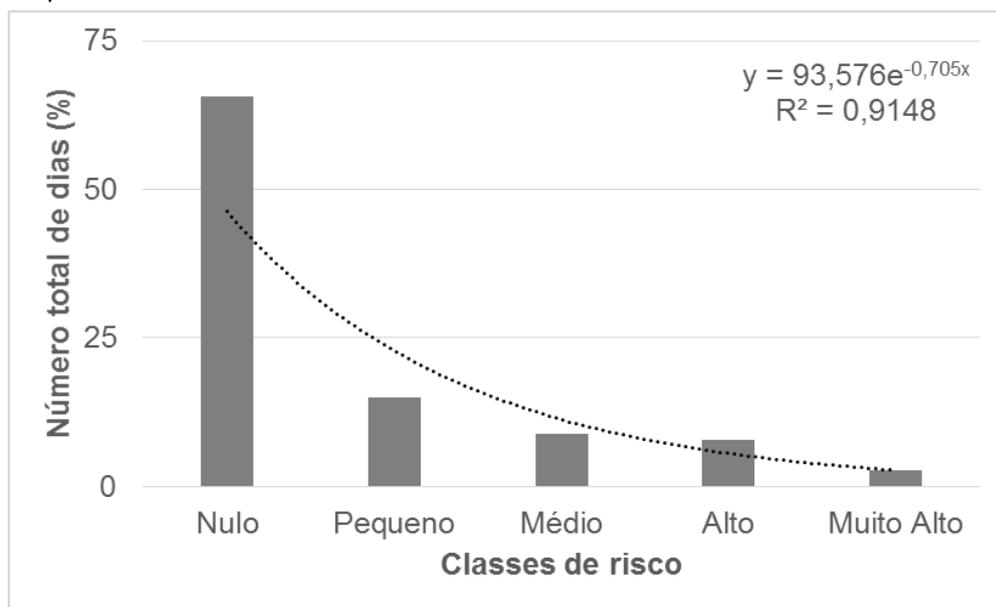
Fonte: o autor.

Figura 6 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 2 classificado pelo id. K.



Fonte: o autor.

Figura 7 – Porcentagem do número de dias previstos por classe de perigo para a subzona 2 classificado pelo id. Q.



Fonte: o autor.

Como pode ser observado nas Figuras 5, 6 e 7, para ambas subzonas, existe uma relação inversa entre o número de dias previstos e as classes de perigo, sendo a classe de maior risco com o menor número de dias previsto. Salienta-se os valores de R^2 para ambas subzonas, 0,76; 0,83 e 0,91, respectivamente, advindos de uma função exponencial decrescente.

Conforme relatado por Nunes et al. (2010) o desajuste observado em um risco de incêndio florestal é um fator que interfere em seu desempenho, sendo esse desajuste causado provavelmente pela mudança nos regimes de chuva e consequentemente de umidade relativa ao longo do tempo. Portanto, para que não haja uma utilização de um índice de perigo desajustado, o que poderá levar à tomada de decisões equivocadas em relação aos procedimentos de prevenção e combate aos incêndios florestais, se faz necessário um ajuste prévio.

4.7 Seleção do modelo de risco de incêndios florestais

Os resultados encontrados para a porcentagem de sucesso dos dias com e sem incêndio, geral e o teste de *skill score*, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos pelos testes de porcentagem de sucesso e *skill score* para os valores de classe dos modelos FWI, FMA⁺ e RIF-Database

modelo	subzona	porcentagem de sucesso (%)			<i>skill score</i>
		com incêndio	sem incêndio	geral	
FWI	1	59,15	67,03	66,13	0,1363
	2	50,35	77,06	73,97	0,1773
	3	35,16	73,8	69,88	0,0515
FMA ⁺	1	69,86	46,96	46,68	0,0653
	2	71,33	54,35	56,29	0,1062
	3	63,30	52,07	53,33	0,0615
RIF-Database	1	34,42	87,91	81,82	0,1985
	2	45,61	88,35	83,46	0,2938
	3	40,66	84,62	79,55	0,2014

Fonte: o autor.

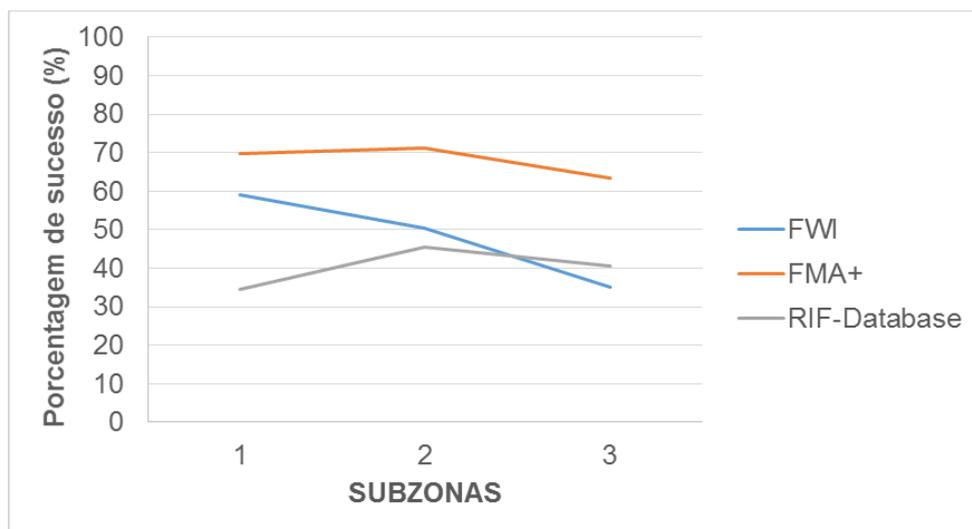
Para os dias com incêndio florestal, observou uma maior sensibilidade do modelo FMA⁺, o qual apresentou valores de porcentagem de sucesso superiores a 60% para todas as subzonas, entretanto, o mesmo apresentou os piores resultados para os dias sem incêndio florestal e por consequência, os piores resultados para a porcentagem de sucesso geral.

Em relação a porcentagem de sucesso geral obtida para o modelo FMA⁺, em ambas subzonas, os resultados encontrados no presente estudo são, em média, muito próximos aos encontrados por Nunes (2005), Nunes et al. (2006) e Nunes et al. (2010), os quais obtiveram um valor de 55,64%. Entretanto, para o teste de *skill*

score, encontrou-se valores menores aos encontrados por Nunes (2005), Nunes et al. (2006) e Nunes et al. (2010), os quais obtiveram um valor de 0,1165 para o teste.

A Figura 2, apresenta os resultados da porcentagem de sucesso de acerto dos dias com incêndio, em forma gráfica, para melhor compreensão dos acertos entre os diferentes modelos.

Figura 2–Gráfico da dispersão das porcentagens de acerto dos dias com incêndio florestal para os modelos de risco de incêndio florestal FWI, FMA+ e RIF-Database.

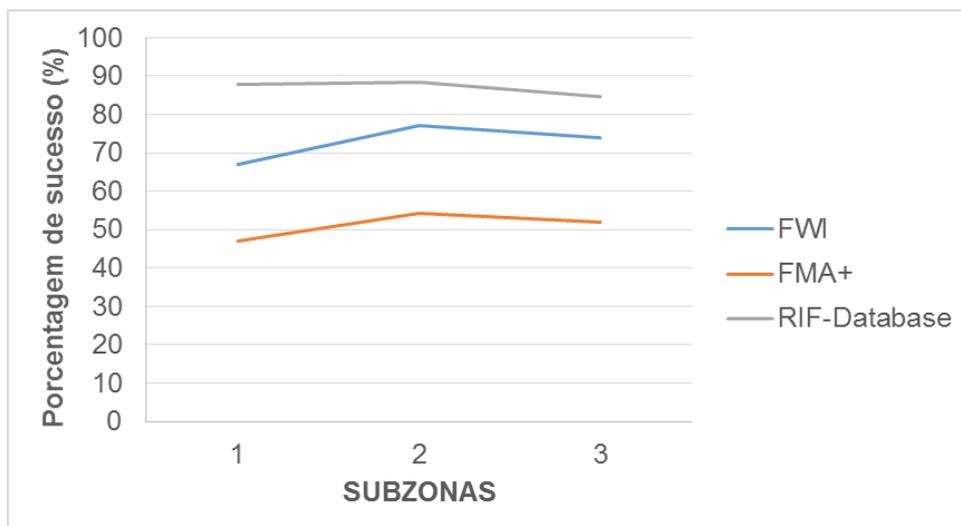


Fonte: o autor

Nota-se o maior acerto do modelo FMA+ para ambas subzonas, como discutido anteriormente. Destaca-se também que para a subzona 3, há uma inversão da porcentagem de acerto entre os modelos FWI e RIF-Database, sendo que o RIF-Database supera o FWI nesta subzona com 5,50% a mais, entretanto, ainda é um baixo acerto, sendo de 40,66%.

Em relação a porcentagem de sucesso de acerto dos dias sem incêndio florestal, observa uma inversão no papel dos modelos, sendo que o modelo RIF-Database, apresenta a maior sensibilidade para acerto dos dias sem incêndio florestal, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3—Gráfico da dispersão das porcentagens de acerto dos dias sem incêndio florestal para os modelos de risco de incêndio florestal FWI, FMA+ e RIF-Database.

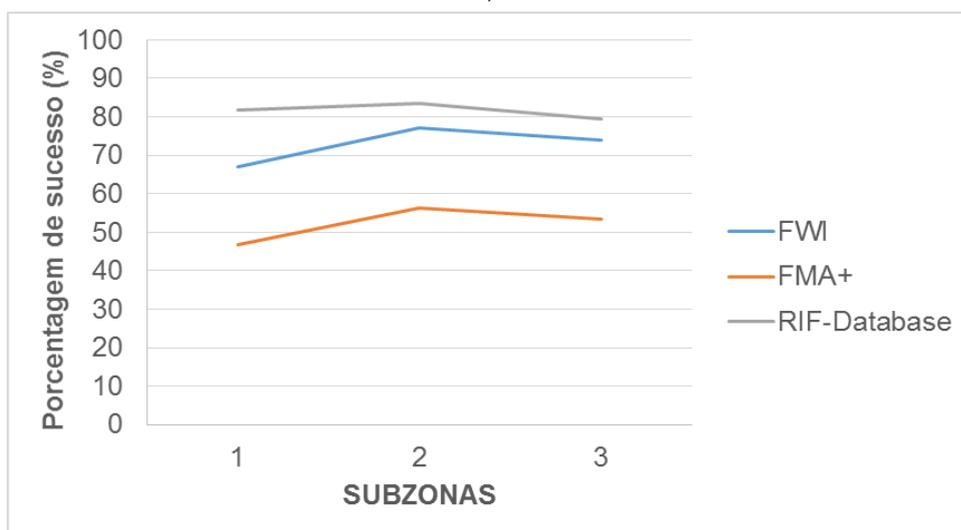


Fonte: o autor

Para os dias sem incêndio florestal, o modelo *RIF-Database* apresentou valores de porcentagem de sucesso superiores a 80% para todas as subzonas, e por consequência, os melhores resultados para a porcentagem de sucesso geral, com média próxima a 80%, conforme podem ser observados na Figura 4.

Destaca-se também os valores obtidos pelo modelo FWI para os dias sem incêndio florestal, o qual possui média superior a 70%.

Figura 4—Gráfico da dispersão das porcentagens de acerto dos dias com e sem incêndio florestal para os modelos de risco de incêndio florestal FWI, FMA+ e RIF-Database.



Fonte: o autor

O resultado da porcentagem de sucesso geral, dos dias com e sem incêndio florestal, é condizente com o esperado, uma vez que, o maior acerto dos dias sem

incêndio florestal é diretamente correlacionado com o maior acerto geral, pois não existe uma distribuição homogênea entre dias com e sem incêndio florestal na área de estudo.

Para todas as subzonas o modelo *RIF-Database* foi o melhor, superando todos os estudos de risco de incêndio no Brasil. É de se esperar que um modelo de risco de incêndio que foi baseado e alimentado por dados da área de estudo obtenha os melhores resultados, entretanto, destaca-se também a média de 70% para o modelo FWI, valor que pode ser considerado excelente, pois supera diversos estudos realizados no País.

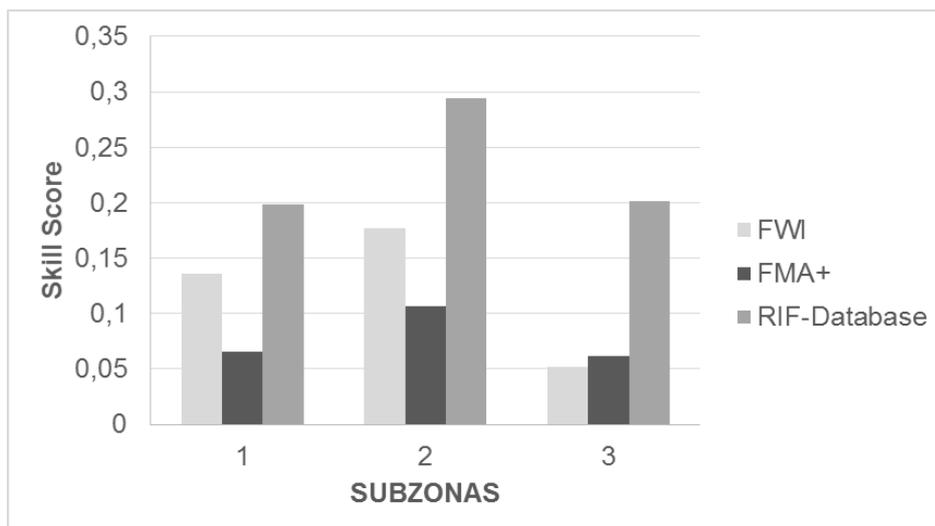
Os modelos *RIF-Database* e FWI obtiveram resultados acima dos que foram encontrados por Souza (2014), 63,53%; Rodríguez et al. (2012), 57,10%; e Borges et al. (2011) encontraram valores da porcentagem de sucesso que variaram entre 51,54 e 56,47%.

White et al. (2013) e White et al. (2015) obtiveram como resultado para a porcentagem de sucesso da FMA⁺, em áreas com plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia, valores de 38,64% e 36%, respectivamente, valores estes muito abaixo do encontrado no presente estudo.

White (2010) obteve uma porcentagem de sucesso de 73%, quando analisou a FMA⁺ e os focos de calor para o estado de Sergipe, valores similares ao encontrado para o modelo FWI no presente estudo e abaixo dos que foram encontrados pelo modelo *RIF-Database*.

Em relação ao acerto da porcentagem de sucesso geral para o modelo FWI, os valores encontrados no presente estudo são superiores aos encontrados no trabalho de Sampaio (2009), o qual obteve um valor de 52,81% para a região de Agudos, São Paulo. Viegas et al. (s. d. apud SAMPAIO, 2009), encontraram valores da porcentagem de sucesso para regiões do Sul da Europa, correspondentes a 75,5% para o FWI, valor próximo ao encontrado para a presente região de estudo.

Figura 5—Gráfico dos valores obtidos pelo teste de *skill score* para os modelos de risco de incêndio florestal FWI, FMA+ e RIF-Database.



Fonte: o autor

A média encontrada pelo teste de *skill score* para as subzonas foi de 0,1217 para o modelo FWI, 0,0777 para a FMA+ e 0,2312 para o modelo RIF-Database.

White et al. (2013) ao avaliar a FMA+ em áreas de plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia de florestas, no período de 01/01/2002 a 31/12/2009, encontraram um valor de *skill score* igual a 0,059 e White et al. (2015) para o período de 01/01/2002 à 31/12/2012, encontraram um valor de *skill score* igual a 0,05. Rodríguez et al. (2012) avaliaram o desempenho de índices de risco de ocorrência de incêndios florestais para as áreas da empresa florestal Macujire, em Cuba, durante o período compreendido entre janeiro de 2006 a dezembro de 2011, e obtiveram para a FMA+, no teste de *skill score*, o valor de 0,0737. Ambos trabalhos obtiveram médias menores que as encontradas no presente estudo.

White (2010) dotou-se da FMA+ para calcular o risco de incêndios florestais entre o período 06/06/2008 à 08/11/2009, o autor descreve em seu estudo que para os incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil, obteve um valor de *skill score* igual a 0,023, valor inferior quando comparado ao encontrado no presente estudo, já para o estado do Sergipe e ao analisar os focos de calor, o autor encontrou um valor de 0,36, valor superior ao encontrado no presente estudo.

Sampaio (2009) em seu estudo para a região de Agudos, estado de São Paulo, realizou um comparativo entre diferentes índices de risco de incêndios florestais, entre eles o FWI. Os dados utilizados pelo autor compreendiam o período entre os

anos de 1984 e 1995 e obteve como resposta do melhor índice, após ajustes, o FWI o qual apresentou no teste de *skill score* o valor de 0,1363, valor similar a média do modelo FWI encontrado nas subzonas do presente estudo.

White et al. (2013) realizaram em seu trabalho um comparativo entre distintos índices de risco de incêndios florestais entre os anos de 2002 e 2009. Os autores utilizaram o banco de dados de incêndios florestais das plantações de eucalipto no litoral norte da Bahia, Brasil, e obtiveram para o FWI um valor de 0,053 para o teste de *skill score*, valor muito aquém quando comparado aos resultados obtidos no presente estudo.

Borges et al. (2011), realizaram um estudo afim de verificar o desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no Norte do Espírito Santo entre os anos de 2003 e 2004. Os autores encontraram valores de *skill score* que variaram entre 0,1626 a 0,2055, valores superiores ao encontrados no presente estudo para os modelos FWI e FMA⁺, entretanto, abaixo do *RIF-Database*.

Em trabalho desenvolvido para regiões do sul da Europa, Viegas et al. (s. d. apud SAMPAIO, 2009), encontraram valores do *skill score* para a região da província dos Alpsde-Haut, correspondentes a 0,28 para o FWI, valor acima do encontrado no presente estudo.

A escolha do modelo para cada subzona se baseou em um teste estatístico. Inicialmente, realizou-se a normalização dos dados de porcentagem de sucesso com e sem incêndios, geral e, também, dos valores de *skill score*, sendo os mesmos normalizados dentro da escala que varia entre 0 e 100. Após a normalização dos valores, foi realizado o teste de hipóteses, por meio da utilização do teste de Shapiro-Wilk, conforme pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados encontrados com o teste de Shapiro-Wilk para os distintos id's

Método	Subzona	Shapiro-Wilk	Tukey-Kramer
FWI	1	0,404	35,11
	2	0,004	20,65
	3	0,333	23,39
FMA ⁺	1	0,719	30,66
	2	0,017	28,76
	3	0,267	31,35
<i>RIF-Database</i>	1	0,323	32,72
	2	0,299	39,32
	3	0,079	31,91

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado, os id's apresentaram valores superiores a 0,05, portanto, aceita-se a hipótese nula, então a amostra provém de uma distribuição normal, exceto para a subzona 2 para os métodos FWI e FMA⁺, os quais, apresentaram valores menores que 0,05, portanto, foram eliminados das análises posteriores.

Com os dados que apresentaram distribuição normal para ambas subzonas, passou-se então para o teste paramétrico da Análise de variância (ANOVA), a qual possui como hipótese a igualdade entre as médias de duas ou mais populações, no presente caso, a igualdade entre os valores normalizados para cada id. Como o teste F, foi significativo, fez-se o teste *posthoc* de Tukey-Kramer, para comparar todos os id's entre si.

O teste de Tukey-Kramer foi realizado ao nível de significância igual a 0,05 e seu intervalo de confiança de 95%, e para ambas as subzonas a hipótese nula não foi rejeitada, ou seja, a distribuição dos valores normalizados é a mesma entre os diferentes identificadores, para cada subzona. Portanto, a escolha do melhor modelo de risco de incêndios florestais para cada subzona baseou-se na maior média encontrada.

Como pode ser observado na Tabela 6, o maior valor médio para a subzona 1 foi o sistema FWI com valor médio igual a 35,11, para a subzona 2 e 3 foi escolhido o sistema *RIF-Database* com valor médio igual a 39,32, e 31,91, respectivamente.

Era esperado que o modelo *RIF-Database* apresentasse os melhores resultados e fosse o modelo escolhido para todas as subzonas, uma vez que, foi desenvolvido com dados meteorológicos diários da área de estudo, entretanto, para a subzona 1 o modelo FWI o superou. Tal fato, se apresenta como um sinal de que o modelo FWI é sim um modelo muito eficiente para a previsão de incêndios florestais na área de estudo.

Desse modo, ressalta-se a importância do presente estudo, frente ao risco de incêndios florestais no Brasil, uma vez que ainda é possível melhorar o sistema FWI com a calibração de seus parâmetros. Portanto, acredita-se que, com estudos visando a calibração do sistema FWI, aliado a metodologia de identificação de classes do presente estudo, o acerto global do índice possa ser ainda mais superior em relação as demais metodologias de riscos de incêndio adotadas no Brasil.

5 CONCLUSÕES

Demonstrou-se que a área de estudo possui três regiões com subzonas climáticas homogêneas e distintas entre si, sendo que essas foram divididas e denominadas como subzona 1, 2 e 3. A validação foi realizada pelo coeficiente de correlação cofenética.

Para a subzona 1, quanto maior for a temperatura média do ar, maior o número de incêndios florestais dentro do próprio mês, quanto maior for a umidade relativa média do ar menor o número de incêndios florestais dentro do próprio mês e quanto maior for o déficit hídrico, maior o número de incêndios no mês seguinte.

Para a subzona 2, quanto maior for a média da umidade relativa do ar, menor será a ocorrência de incêndios florestais dentro do próprio mês.

Para a subzona 3, quanto maior for a precipitação pluviométrica média mensal e maior for a umidade relativa média do ar, menor será o número de ocorrência de incêndios florestais dentro do próprio mês.

Existem duas épocas de ocorrência de incêndios florestais na área estudada, sendo que para a primeira época, a subzona 1 é de dezembro a março, para a subzona 2 é de janeiro a março, e para a subzona 3 está nos meses de janeiro e fevereiro. A segunda época, para todas as subzonas, é entre os meses de agosto a outubro.

Considerando ambas subzonas, aproximadamente 80% dos incêndios analisados correspondem áreas menores que 4ha. A maior concentração do número de ocorrências originou-se a partir das 13:00h.

A aplicação do sistema FWI obteve excelentes resultados. Sendo que a metodologia proposta para o teste de classes se mostrou eficiente e permitiu uma análise dos valores encontrados para as classes possibilitando a análise das épocas com maior ocorrência e do conjunto total de dados.

A análise por regressão logística é menos sensível para os valores mais baixos e pode superestimar as condições de baixo risco, o que pode gerar uma situação em que a qualificação do risco esteja baixa e o risco esteja muito alto.

A aplicação do sistema FMA+ obteve bons resultados após a definição de novas classes. Observou-se que a aplicação dos percentis para o desenvolvimento

de limites para novas classes implicou em um maior acerto do índice para as subzonas de estudo.

O risco de fogo (RF) apresentou dados satisfatórios para a previsão de incêndios florestais em ambas subzonas da área de estudo, entretanto, é imprescindível a realização de estudos mais detalhados nos dias que não ocorreram incêndios florestais, para assim, detectar os dias em que se espera a ocorrência e a mesma não ocorre. Ressalta-se a importância do RF para o País, sendo o mesmo utilizado por diversos órgãos, atualizado diariamente, e disponível para todos que queiram acessá-lo.

A aplicação do sistema de base de dados RIF-*Database* obteve excelentes resultados. Sendo que a análise por regressão logística é menos sensível para os valores mais baixos e pode superestimar as condições de baixo risco, o que pode gerar uma situação em que a qualificação do risco esteja baixa e o risco esteja muito alto.

A utilização de dados diferentes para a escolha do modelo foi de fundamental importância para a escolha do índice a ser usado, uma vez que, utilizou-se dados de um período diferente para a escolha do modelo de risco a ser utilizado.

O modelo FWI apresentou os melhores resultados para a subzona 1.

O modelo RIF-*Database* apresentou resultados excelentes, sendo o modelo a ser utilizado para as subzonas 2 e 3.

O modelo FWI é visto como o modelo mais próspero para a área de estudo, uma vez que, encontrou valores superiores, para uma subzona, ao modelo desenvolvido por meio da base de dados da área de estudo, entretanto, será necessário um estudo para a calibração dos seus parâmetros.

6 AGRADECIMENTOS

O autor expressa o enorme apreço aos professores e pesquisadores do CPTEC-INPE, Dr. Raffi Agop Sismanoglu e Dr. Alberto W. Setzer, pela fundamental ajuda para a realização deste trabalho e por esclarecer todas as dúvidas em relação ao RF. Estende-se os agradecimentos a toda equipe do CPTEC-INPE que ajudou de forma direta e indireta a criação do sistema RF e a realização dos seus cálculos diários.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M.E., STOCKS, B.J., LAWSON, B.D., **The Canadian Forest Fire Danger Rating System**. Initial Attack(Spring),1996. p. 5-8.

ALMEIDA, W. G. et al.; IDD-BRASIL: Distribuição de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, 2005. p. 33-38.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMRAOUI, M.; LIBERATO, M. L. R.; CALADO, T. J.; COELHO, L. P.; TRIGO, R. M.; GOUVEIA, C. M. **Fire activity over Mediterranean europe based on information from Meteosat-8. forest Ecology and Management**, v. 294, 2013. p. 62-75

ANDRÉ, R. G. B.; MARQUES, V. S.; PINHEIRO, F. M. A.; FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, 2008. p.501 - 509

ANDREWS, P. L.; LOFTSGAARDEN, D. O.; BRADSHAW, L. S. Evaluation of fire danger indexes using logistic regression and percentile analysis. **International Journal of Wildland Fire**, v. 12, 2003. p213-226

AXIMOFF, I.; RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, 2011. p. 83-92.

BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 2002. 86 p

BATISTA, A.C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v.34, n.2, p.237–241, 2004.

BEDIA J, HERRERA S, GUTIÉRREZ J, ZAVALA G, URBIETA I, MORENO J Sensitivity of Fire Weather Index to different reanalysis products in the Iberian Peninsula. **Nat Hazards Earth Syst Sci**, 12, 2012.p.699–708.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. (Org)Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da UFRGS, Porto Alegre: ABRH, 2001.p.177-241.

BESERRA NETA, L. C.; SILVA, G. F. N. A influência dos elementos climáticos e a variação da ocorrência de focos de calor no espaço geográfico de Roraima. **Textos e Debates**, v. 1, n. 7, p. 58-63, 2004.p.58-63

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

- BIROT, Y. **Living with fires: what science can tell us.** European Forest Institute, Discussion Paper 15, 2009. 82 p.
- BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; DOULA, S. M.; SILVA, E.; JACOVINE, L. A. G. Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, 2011.p. 247-263,
- BORGES, T. E.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R.; LOUREIRO, E. B.; MAFIA, R. G. 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.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. *Principles of Geographic Information Systems.* New York: Oxford University Press, 1998.
- BUSEMEYER, J. R.; WANG, Y. Model Comparisons and Model Selections Based on Generalization Criterion Methodology. **Journal of Mathematical Psychology.** v. 44,n. 1, 2000. p.171-189
- CALDARARO, N. Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. **The Science of the Total Environment**, v. 292, p.141-165, 2002.
- CALDAS, J. M.; SILVA, F. B.; SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, estado do Maranhão, Brasil. In: XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014.
- CALDAS, M. A. E. **Estudos de revisão de literatura: fundamentação e estratégia metodológica.** São Paulo: Hucitec, 1986. FIGUEIREDO, Nice. Da importância dos artigos de revisão da literatura. *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, São Paulo, v. 23, n. 1/4, p. 131-135, 1990.
- CAMIA, A., AMATULLI, G., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. **Past and Future Trends of Forest Fire Danger in Europe.** Official Publication of the European Communities, EUR 23427 EN, Luxembourg, 2008.
- CAMPO, J.; ANDREU, V.; GIMENO-GARCIA, E.; GONZÁLES, O.; RUBIO, J.L. Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology*, v. 82, p. 376-387, 2006.
- Canadian Forest Service - CFS. *Tables for the Canadian Forest Fire Weather Index System.* Ottawa: Environmental Canada, 1984.
- CARVALHO, A.; FLANNIGAN, M. D.; LOGAN, K.; MIRANDA, A. I.; BORREGO, C. Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. **Int J Wildland Fire**,17,2008. p.328–338
- CAVALCANTI, I. F. A.; NOBRE, P.; ABREU, M. L.; QUADRO, M.; PEZZI, L. P. **Vertical and horizontal resolution comparisons of CPTEC/COLA GCM.** Proceedings of the twentieth annual climate diagnostics workshop., Seattle, Washington, 1995. p. 73-76.
- CHAND, T. R, K.; BADARINATH, K. V. S.; PRASAD, V. K.; MURTHY, M. S. R.; ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B. T. Monitoring forest fires over the Indian region using

- Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System nighttime satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v.103, n. 2, p. 165-178, 2006.
- CHOU, Y.H.; MINNICH, R.A.; CHASE, R.A. Mapping probability of fire occurrence in San Jacinto Mountains, California, USA. **Environ. Manage**, 17, 129-140, 1993.
- CHUVIECO, E.; AGUAD, I.; COCERO, D. Estimation of fuel moisture content from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper Reflectance data: applications in fire danger assessment. *Int J Remote Sens*, s. 23, p.2145–2162, 2007.
- CLARKE, H.; LUCAS, C.; SMITH, P. Changes in Australian fire weather between 1973 and 2010. *International Journal of Climatology*, v. 33, n. 4, p. 931–944, 2012.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences** (2nd ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1988.
- COUTINHO, L. M.; MIRANDA, H. S.; MORAIS, H. C. O Bioma do Cerrado e o Fogo. **Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP**, 2002. 50 p.
- CURT, T.; BORGNIET, L.; IBANEZ, T.; MORON, V.; HÉLY, C. Understanding fire patterns and fire drivers for setting a sustainable management policy of the New-Caledonian biodiversity hotspot. **Forest Ecology and Management**, v. 337, p. 48–60, 2015.
- DACAMARA, C. C.; CALADO, T. J.; ERMIDA, S. L.; TRIGO, I. F.; AMRAOUI, M.; TURKMAN, K. F. Calibration of the fire weather index over mediterranean europe based on fire activity retrieved from MSG satellite imagery. **International Journal Wildland Fire**, v. 23, 2014. p.945-958
- DAHMEN, S. R. A obra de Boltzmann em física. **Rev. Bras. Ensino Física**, v. 28, n. 3, 2006. p. 281-295. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172006000300005>
- DE GROOT, W.J.; FIELD, R.D.; BRADY, M.A.; ROSWINTIARTI, O.; MOHAMAD, M. Development of the Indonesian and Malaysian Fire Danger Rating Systems. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, s. 12, p.165–180, 2007.
- DEPPE F, PAULA EV, MENEGHETTE CR, VOSGERAU, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no estado do Paraná. **Floresta**, v.34, n.2, 2004. p.119-126
- Díaz-Delgado, R., **Caracterización mediante teledetección del régimen de incendios forestales en Cataluña (periodo 1975-98) y su influencia en los procesos de regeneración**. Ph. D. Thesis. 2000. 276 p.
- DIMITRAKOPOULOS, A.; BEMMERZOUK, A.; MITSOUPOLOULOS, I. Evaluation of the Canadian fire weather index system in a eastern Mediterranean environment. **Meteorological Applications**, v.18, 2011. p.83-93
- DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de subzonas homogêneas em séries temporais de precipitação no estado da Bahia. **Bragantia**, v.72, n.2, 2013.p.192-198.

DOWDY, A. J.; MILLS, G. A.; FINKELE, K.; GROOT, W. Index sensitivity analysis applied to the Canadian forest fire weather index and the McArthur forest fire danger index. **Meteorological Applications**, v. 17, n. 3, p. 298–312, 2010.

DOWDY, A. J.; MILLS, G. A.; FINKELE, K.; GROOT, W. *Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index*. Melbourne: CAWCR, 2009.

DUGUY B. **Interacción de la historia de usos del suelo y el fuego en condiciones mediterráneas**. Respuesta de los ecosistemas y estructura del paisaje. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, Alicante, 2003.

DUGUY, B.; PAULA, S.; PAUSAS, J. G.; ALLOZA, J. A.; GIMENO, T.; VALLEJO, R. V. **Effects of Climate and Extreme Events on Wild fire Regime and Their Ecological Impacts**. In: NAVARRA, A.; TUBIANA, L. (eds.), *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean: Volume 2: Agriculture, Forests and Ecosystem Services and People*, *Advances in Global Change Research* 51, 2013.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

ESRI. **Euclidean distance. ArcGIS** Resource Center. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/euclidean-distance.htm>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

EUGENIO, F. C. **Geotecnologias na alocação de torres de observação de incêndios florestais**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. B.; PANETO, G. G.; SCHETTINO, V. R. Applying GIS to develop a model for forestfire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 173, 2016. p. 65-71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021>

FAO. **Fire Management, Global Assessment 2006**. FAO (Food and Agriculture Organization of the UN), Rome, 2006.

FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, ANDRÉ DE AVELAR, G. M. S. Avaliação Geoecológica de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011. doi 10.4322/loram.2011.050

FERRARI, J. L. **Avaliação de geotecnologias para subsidiar o mapeamento do uso e cobertura da terra no Instituto Federal do Espírito Santo – campus de Alegre**. 2012. 210 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do norte Fluminense "Darcy Ribeiro", Campo dos Goytacazes, 2012.

FERREIRA, S.H.S. et al. Banco de Dados Meteorológicos para o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. In: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...** RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000. p.3118-3125.

FIEDLER, N. C.; MERLO, A. M.; MEDEIROS, M. B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 153-161, 2006.

FIGUEIREDO, N. A importância dos artigos de revisão da literatura. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, São Paulo, v. 23, n. 1/4, p. 131-135, 1990.

FILIPPINI, F. **Metodologias para tomada de decisão a partir de Informações Qualitativas**. Dissertação de Conclusão de Curso. 82f. 2003. (Mestrado em Ciências da Computação), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FINNEY, M. A. **Efforts and comparing simulated and observed fire growth patterns**. Final report. 2000. 20p.

FISCHER, M. A.; DI BELLA, C. M.; JOBBÁGY, E. G. Fire patterns in central semiarid Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 78, p. 161-168, 2012.

FLANNIGAN, M. D.; AMIRO, B. D.; LOGAN, K. A.; STOCKS, B. J.; WOTTON, B. M. Forest fires and climate change in the 21st century. **Mitig Adapt Strat Glob Chang**, v. 11, n. 4, 2005. p.847–859

FLANNIGAN, M. D.; HARRINGTON, J. B. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wild fire in Canada (1953–80). **J Appl Meteorol**, v. 27, 1988. p.441–452

FLANNIGAN, M. D.; STOCKS, B. J.; WOTTON, B. M. Climate change and forest fires. **Sci Total Environ**, v. 262, 2000. p.221–229

FLANNIGAN, M. D.; WOTTON, B. M. **Climate, weather and area burned**. In 'Forest Fires – Behaviour and Ecological Effects'. (Eds EA Johnson, K Miyanishi), 2001. pp. 335–357. (Academic Press: San Diego, CA)

FOX, D. M.; MARTIN, N.; CARREGA, P.; ANDRIEU, J.; ADNES, C.; EMSELLEM, K.; GANGA, O.; MOEBIUS, F.; TORTOROLLO, N.; FOX, E. A. Increases in fire risk due to warmer summer temperatures and wildland urban interface changes do not necessarily lead to more fires. **Applied Geography**, v. 56, p. 1-12, 2015.

FRANÇA, H.; RIBEIRO NETO, M. B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 140 p.

FRANÇA, H.; SETZER, A. AVHRR temporal analysis of a Savanna site in Brazil. **Int.J. Remote Sensing**, v,19, n16,1998. p. 3127-3140. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1998_franca_setzer_ijrs_avhrrtemporal.pdf> Acesso em: 20/08/2014

FRIEDL, M.A, SULLA-MENASHE, D, TAN, B., SCHNEIDER, A., RAMANKUTTY, N., SIBLEY, A., HUANG, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, 2010. p. 168-182.

GALTIÈ, J.F. Remotely based fuels water content assessment applied to operational fire risk prevision: requirements, situation and perspectives. **For Ecol Manag**, s.37, p.234, 2006.

- GANTEAUME, A.; JAPPIOT, M. What causes large fires in Southern France. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 76-85, 2013.
- GIACOMIN, G. G. **Ocorrências de incêndios em povoamentos florestais no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Monografia.** Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2014
- GOOD, P.; MORIONDO, M.; GIANNAKOPOULOS, C.; BINDI, M. The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies. **International Journal of Wildland fire**, v. 17, 2008. p.155-165
- GOULART, A. A.; MORELLI, F.; SETZER, A. Focos de queimadas e incêndios detectados por satélites nas unidades de conservação do cerrado no Mato Grosso em 2010. 2011. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada “Dinâmicas socioambientais, das inter-relações às interdependências”, 14. Dourados, 2011.
- GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.
- HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados.** 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- HARRINGTON, J.B.; FLANNIGAN, M.D.; VAN WAGNER, C.E. **A study of the relation of components of the Fire Weather Index to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953–80.** Environ. Can., Can. For. Serv., Petawawa Natl. For. Inst., Chalk River, ON. Inf. Rep. PI-X-25,1983. 65 p
- HELY C, FLANNIGAN, M. D.; BERGERON Y, MCRAE D (2001). Role of vegetation and weather on fire behavior in the Canadian mixedwood boreal forest using two fire behavior prediction systems. **Canadian Journal of Forest Research**, 31, 2001.430–441. doi:10.1139/CJFR-31-3-430
- HOLSTEN, A.; DOMINIC, A. R.; COSTA, L.; KROPP, J. P. Evaluation of the performance of meteorological forest fire indices for German federal states. **Forest Ecology and Management**, v. 287, p., 2013.p.123-131.
- HOSMER, D.W.; LEMESHOW S. 2000. **Applied Logistic Regression**, 2nd edn. Wiley: New York.
- IBAMA. Programa de Prevenção e Controle às Queimadas e aos Incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento - PROARCO. Brasília, 2002.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios.** Disponível em <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 10 out. 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2012. Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf>. Acesso em:13/10/2014.

JUSTINO, F. B.; SOUZA, S. S.; SETZER, A. Relação entre “focos de calor” e condições meteorológicas no Brasil. **Anais...** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. Foz de Iguaçu-PR, p. 2086-2093, 2002.

KEETCH, J. J.; BYRAM, G. A drought index for forest fire control. Asheville, NC: U.S. *Department of Agriculture*, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, SE-38, 1968.

KOPROSKI, L.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Ocorrências de incêndios florestais no Parque Nacional de Ilha Grande – Brasil. **Floresta**, v. 34 n. 2, 2004, p. 193-197.

KRAUSE, J. **Análise de ocorrências de incêndios em florestas plantadas**. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2013

KRAWCHUK M.A, MORITZ MA, PARISIEN M-A, VAN DORN J, HAYHOE K. Global pyrogeography: The current and future distribution of wildfire. **PLoS ONE**, v.4. 2009.

LAWSON, D.; MARION, G. **An introduction to mathematical modelling**. 2008. 35p. Disponível em: <https://people.maths.bris.ac.uk/~madjl/course_text.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2017.

LIBONATI, R.; DA CAMARA, C.; PEREIRA, J.M.; PERES, L.F. On a new coordinate system for improved discrimination of vegetation and burned áreas using MIR/NIR information. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, 2011. p. 1464-1477. Disponível em: http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2011_Libonati_et_al_Coordinate_RSE.pdf. Acesso em: 30/04/2014

LIMA G.S, SOARES RV. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais no Brasil. **Revista Floresta**, 22(12),1999. p.225-38.

LIMA, G. S. A prevenção de incêndios florestais no estado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 30, n.1/2, 2000.p. 37-43.

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

MADSEN, H. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. **Journal of Hydrology**, 2000. p. 276-288.

MAGALHÃES, S.R.; LIMA, G.S.; RIBEIRO, G.A. Avaliação do combate aos incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.1, p.80–86, 2011

MARTÍNEZ, J., VEGA-GARCÍA, C., CHUVIECO, E. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. **Journal of Environmental Management** 2009.p.1241–1252.

McARTHUR, A. G. Control burning in eucalypt forests. *Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Bureau Leaflet*, n. 80, p. 31- 50, 1962.

McCOY, V.M.; BURN, C.R. Potential alteration by climate change of the forest-fire regime in the boreal forest of central Yukon Territory. **Arctic**, v. 58, n. 3, 2005. p. 276–285

- MEDEIROS, M. B. Manejo de fogo em unidades de conservação do cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 76-89, 2002.
- MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.
- MILANI, D. Incêndios florestais no amapá. **Floresta**, v. 30, n.1/2, 2000.p. 23-36.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/panorama_espiritosanto.pdf>. Acesso em: 05 fev 2016.
- MOREIRA, F.R.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. *Técnicas de suporte a decisão para modelagem geográfica por álgebra de mapas*. São José dos Campos: INPE, 2001.
- MOREIRA, W. Revisão de Literatura e Desenvolvimento Científico: conceitos e estratégias para confecção. **Revista Janus**, v. 1, n. 1, p. 21-30, 2004.
- MORENO, J. M.; URBIETA, I. R.; BEDIA, J.; GUTIÉRREZ, J. M.; VALLEJO, V. R. Los incendios forestales em España ante el cambio climático. **Impactos y vulnerabilidad**, 2015. p. 395-405
- MORENO, J. M.; VALLEJO, V. R.; CHUVIECO, E. **Current Fire Regime, Impactgs and the Likely Changes - VI Euro Mediterranean**. In: J.G. Goldammer (Ed), *Vegetation Fires and Global Change - Challens for Concerted International Action: A White Paper directed to the United Nations and International Organizations*, 2013. p. 115-132.
- MORISSETTE, J. T.; GIGLIO, L.; CSISZAR, I.; SETZER, A. W.; SCHROEDER, D. M.; JUSTICE, C. O.: **Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms**. *Earth Interactions*, 2005.
- NOBLE, I.R.; BARY, G.A.A.; GILL, A.M. McArthur's fire danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5, p. 201-203, 1980.
- NOGUEIRA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. P. Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. *Revista Árvore*, Viçosa - MG, v. 26, n. 03, p.363-369, 2002.
- NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. **Revisões de literatura**. In: CAMPELLO, B. S.; CONDÓN, B. V.; KREMER, J. M. (orgs.) *Fontes de informação para pesquisadores e profissionais*. Belo Horizonte: UFMG, 2000.
- NUNES, J. R. S. **FMA+ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná – Brasil**. 2005. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- NUNES, J. R. S.; FIER, I. S. N.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Análise da fórmula de monte alegre (fma) e da fórmula de monte alegre alterada (FMA+) no distrito florestal de monte alegre. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, 2010.p. 319-326.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. FMA+ - Um Novo Índice de Perigo de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná – Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, 2006.p. 178-179.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Análise da fórmula de monte alegre (FMA+) para o estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p, 2009.. 473-484

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. **Floresta**, v.35, n.2, p.247-258, 2005.

OLIVEIRA, D. S. **Zoneamento de risco de incêndios florestais no norte de Santa Catarina**. Curitiba. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

OLIVEIRA, S.; OEHLER, F.; SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; CAMIA, A.; PEREIRA, J. M. C. Modeling spatial patterns of fire occurrence in Mediterranean Europe using multiple regression and random forest. **Forest Ecology and Management**, v. 275, 2012.p. 117-129.

ORTEGA, R. M.; MARTÍN-VIDE, J.; BOTIJA, M. C. L. Climatología de incendios forestales en Cataluña (1968-2008) en relación a situaciones sinópticas y teleconexiones. **Extremos e impactos**, 2012.p. 871-880.

PAIXÃO, L. G. M. A. **Simulação de comportamento de fogo em zonas florestais no alentejo central: comparação de modelos de combustível**. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) – Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2015.

PARIZOTTO, W.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SOUSA, N. J. Controle dos incêndios florestais pelo corpo de bombeiros de Santa Catarina: diagnóstico e sugestões para seu aprimoramento. **Floresta**, v. 38, n. 4,2008. p. 651-662.

PAUSAS J.G; KEELEY, J.E.A burning story: the role of fire in the history of life. **Bioscience**, v. 59, n.7, 2009. p.593–601.

PAUSAS, J. G. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). **Climate Change**, 63,3,2004.p337–350.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, J. A. A.; MORELLI, F.; BARROS, D. A.; ACERBI JR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Cerne**, v. 18, n. 2, 2012.p. 335-343.

PEREIRA, J. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Variação da umidade combustível florestal em função de índices de perigo de incêndios. **CERNE**, v. 18, n. 3, 2012.p. 371-376.

PEREIRA, M. G; TRIGO, R. M.; DA CAMARA, C. C; PEREIRA, J. M. C; LEITE, S.M. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 129, 2005. p. 11–25. doi:10.1016/J.AGRFORMET.2004.12.007

- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. Climate warming, wild fire hazard, and wild fire occurrence in coastal eastern Spain. **Clim Chang**, 38(3), 1998. p.345–357.
- PIROVANI, D. B. *CENÁRIOS de mudanças climáticas e impacto no zoneamento agroclimático de espécies florestais no estado do Espírito Santo*. Tese. 133. 2014. (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias, Alegre, 2014.
- PRUDENTE, T. D. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de risco de incêndio florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e área de entorno. Uberlândia**. 114f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2010.
- PYNE, S. J.; ANDREWS, P. L.; LAVEN, R. D. **Introduction to wildfire**. 2 ed. John Wiley & Sons: New York, 1996. 769 p.
- RAÍNHA, M., FERNANDES, P. M. **Using the Canadian Fire Weather Index (FWI) in the Natural Park of Montesinho, NE Portugal**: calibration and application to fire management. In: Viegas, D.X. (Eds.), *Forest Fire Research and Wildland Fire Safety: Proceedings of IV International Conference on Forest Fire Research 2002, Wildland Fire Safety Summit, Luso, Coimbra, Portugal, November, 2002*, Rotterdam: Millpress, 2002. p.18–23
- RAMSEY, G. S.; HIGGINS, D. G. **Canadian Forest Fire Statistics**. Ontario, Canadian Forestry Service, Information Report PI-X-9, 1981. 71p
- RANDERSON, J. T.; VAN DER WERF, G. F.; COLLATZ, G. J.; GIGLIO, L.; STILL, C. J.; KASIBHATLA, P. Fire emissions from C-3 and C-4 vegetation and their influence on interannual variability of atmospheric CO₂ and delta(CO₂)-C-13. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, n. 2, 2005.
- RIAÑO, D.; RUIZ, J. A. M.; MARTÍNEZ, J. B.; USTIN, S. L. Burned area forecasting using past burned area records and southern oscillation index for tropical Africa (1981–1999). **Remote Sensing of Environment**, v. 107, p. 571–581, 2007.
- RIBEIRO JR, J. I. *Análises estatísticas no Excel: guia prático*. Viçosa: UFV, 2011.
- 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 Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, v.38, n.3, jul./set. 2009, p. 561-572.
- RIBEIRO, M.C.; FIGUEIRA, J.E.C. Uma abordagem histórica do fogo no Parque Nacional da Serra do Cipó, Minas Gerais – Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 2011. p.212-227.
- RODRIGUES, M.; CARRARA, L. A.; FARIA, L. P.; GOMES, H. B. Aves do Parque Nacional da Serra do Cipó: o Vale do Rio Cipó, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 2, 2005. p. 326-338.
- RODRÍGUEZ, M. P. R. Bases metodológicas para el perfeccionamiento de la prevención de los incendios forestales. 100 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestais) – Universidad de Pinar del Río, Cuba, 1999

RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V. Análisis comparativo entre los incendios forestales en Monte Alegre, Brasil y Pinar del Río, Cuba. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004. p. 101-107.

RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SIERRA, C. A. M.; RODRÍGUEZ, Y. C. Ajuste e desempenho dos índices de perigo de incêndios Nesterov, FMA e FMA+ na empresa florestal Macujire, Cuba. **Floresta**, v. 42, n. 4 2012. p. 651-660.

RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; SIERRA, C. A. M.; RODRÍGUEZ, Y. C. Ajuste e desempenho dos índices de perigo de incêndios Nesterov, FMA E FMA+ na empresa florestal Macurije, Cuba. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 651-660, 2012.

RODRÍGUEZ, M. P. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; BECERRA, L. W. M. Comparação entre o perfil dos incêndios florestais de Monte Alegre, Brasil, e de Pinar del Río, Cuba. **Floresta**, v. 43, n. 2, 2012. p. 231-240.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6,1998. p.133-137.

ROMANINI, C. E. B.; GARCIA, A. P.; ALVARADO, L. M.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi*, v.14, n. 11, p.1194-1209, 2010.

SAMPAIO, O. B. **Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP** [Tese de Doutorado]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1999. 157p.

SANABRIA, L. A.; QIN, X.; LI, J.; CECHETA, R. P.; LUCAS, C. Spatial interpolation of McArthur's Forest Fire Danger Index across Australia: Observational study. *Environmental Modelling & Software*. v. 50, p. 37–50, 2013.

SAN-MIGUEL-AYANZ, J.; MORENO, J. M.; CAMIA, A. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. **Forest Ecology and Management**, v. 294, 2013. p. 11–22

SANT'ANNA, C. M; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J. *Controle de incêndios florestais*. Alegre, CAUFES, 2007

SANTOS,A.R;LOUZADA,F.L.R.O.;EUGENIO,F.C.**ArcGIS9.3Total**: aplicações para dados espaciais. Alegre: CAUFES, 2010, 184p.

SANTOS, G. M. A. D. A. **Agrotóxicos em frutos de tomate no Estado do Espírito Santo**. 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2012.

SANTOS, J. F. **Estatísticas dos Incêndios Florestais em Áreas Protegidas no Período de 1998 a 2002**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004,

SANTOS, J.F.; SOARES; R.V.; BATISTA, A.C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v.36, n.1, 2006. p.93 – 100.

SCHOLZE M, KNORR W, ARNELL N.W, PRENTICE I.C A climate-change risk analysis for world ecosystems. **Proc Natl Acad Sci USA**,v.103, n.13,,2006. p.116-120

SETZER, A. W. et al. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, v.7, n.8, 1992. p.40-53,

SETZER, A. W. Operational satellite monitoring of fires in Brasil. International Forest Fire News.**FAO-UN**, s.9 p.:8-11, 1993. Disponível em:<http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/1993_Setzer_Operational_Monitoring_FAO.pdf> Acesso em: 05/04/2014

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A. **Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9. 2012.** Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf> Acesso em: 21/06/2016.

SHARPLES, J. J.; MCRAE, R. H. D.; WEBER, R. O.; GILL, A. M. A simple index for assessing fire danger rating. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, 2009.p. 764-774.

SILVA, A. S.; SILVA, M. C. Prática de queimadas e as implicações sociais e ambientais na cidade de Araguaína - TO. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, ,2006.p. 8-16.

SILVA, J. R. Comportamento do fogo em um ano crítico nas unidades do instituto florestal de São Paulo. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004.p. 131-136.

SISMANOGLU, R. A. E SETZER, A. W. Avaliação regional do modelo de alta resolução do risco de fogo da vegetação desenvolvido pelo INPE. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 18, 2014, Recife, PE, **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2014.

SISMANOGLU, R. A.; SETZER, A. W. Risco de fogo para a vegetação da América do Sul: comparação de duas versões para 2003. In: XIII Congr.Bras. Meteorologia, SBMET, Fortaleza, CE. Set/2004. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/documentos/200409_sismanoglu&setzer_cbm et8_fortaleza_636.pdf.> Acesso em: 21/06/2016.

SKINNER, W. R.; B. J,STOCKS.; D. L, MARTELL.; B, BONSAI.; A, SHABBAR. The association between circulation anomalies in the mid-troposphere and area burned by wildland fire in Canada. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 63, 1999. p. 89 – 105

SOARES R. V.; SANTOS, J. F. **Brazilian forest fires statistics in two periods: 1983/1987 and 1994/1997.** In: VIEGAS (Ed.). Forest Fire Research & Wildland Fire Safety. Rotterdam: Millpress, 2002.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centroparanaense, Brasil.** Dissertação. 1972, 72f. (Mestrado em Ciências) – Centro

Tropical de Ensino e Investigação - Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas OEA, Turrialba, Costa Rica, 1972.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais** – controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba, 2007. 264 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba: [s.n.], 2009. 246 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: [s. n.], 2008. 60p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SANTOS, J. F. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, de 1993 a 2002. In: SEMINÁRIO DE ATUALIDADES EM PROTEÇÃO FLORESTAL, 2. 2005 Blumenau. **Anais...**, FUPEF, 2005.

SOARES, R. V.; CORDEIRO, L. Análise das causas e épocas de incêndios florestais na região centro-paranaense. **Floresta**, v. 5, n. 1, 1974.p. 46-49.

SOARES, R.V. **Forest fires in Brazilian plantations and other protected public land**. In: Symposium on Fire Ecology, 3., 1989, Freiburg. Proceedings of the... Freiburg: [s.n.], 1989. v.1, p. 5-6.

SOARES, R.V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. 2. ed. Curitiba: FUPEF, 2009. 55p.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, 2015.p. 809-816.

SOUSA, R. R.; NASCIMENTO, J. A.; TOPANOTTI, D. Q. Consequências dos incêndios acontecidos na cidade de Cuiabá, MT. **Geoambiente online**, v. 10, 2008. p. 177-203.

SOUZA, A.P.; CASAVECCHIA, B.H. & STANGERLIN, D.M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios Florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, 2012.p. 1-14.

SOUZA, J. I. **Comportamento e ajustes dos índices de perigo de incêndio – FMA e FMA+ para o município de Lages-SC**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual de Santa Catarina. Lages, 2014.

STOCKS, B.J.; WALKER, J.D. Fire behavior and fuel consumption in jack pine slash in Ontario. Ontario, Canada Forestry Service, 1989.

STOLLE, L.; LINGNAU, C.; ARCE, J. E.; BOGNOLA, I. A. Simulação do impacto das atividades florestais na fragilidade potencial em plantios de Pinus. **Cerne**, v.18, n.4, p. 683-693, 2012.

STURM, T.; FERNANDES, P. M., SUMRADA, R. The Canadian Fire Weather index System and wildfire activity in the Karst forest management area, Slovenia. **European Journal of forest Research**, v. 131, 2012. p. 829-834

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de Eucalyptus na época seca e chuvosa. **Cerne**, v.13, 2, 2007, p.149-159.

TEBALDI, A. L. C.; FIEDLER, N. C.; JUVANHOL, R. S.; DIAS, H. M. Ações de prevenção e combate aos incêndios florestais nas unidades de conservação estaduais do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, 2013.p. 538-549.

TETTO, A. F. **Comportamento histórico dos incêndios florestais na Fazenda Monte Alegre no período de 1965 a 2009**. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V. 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, 2010.p. 33-43.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v.38, 1948.p.55-94.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, N.J. Publ. In Climatology, v.8, n.1, 1955. 104p

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. **Floresta e Ambiente**, v.15, n.2,2008. p.30-39.

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**, v.35, n.1, 2011.p.143-150.

TRIGO, R.M.; PEREIRA, J.M.C.; M. G, PEREIRA.; B.M, MOTA.; T.J, CALADO.; C.C, DACAMARA.; F.E, SANTO. Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. **Int J Climatol** 26, 2006. p-1741–1757.

TURCO M, LLASAT MC, VON HARDENBERG J, PROVENZALE A. Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean environment (northeastern Iberian Peninsula). **Climatic Change**, 116, 2013. p.665–678. doi:10.1007/s10584-012-0505-6

UDA, P. K.; FRANCO, A. C. L; QUEEN, G.; BONUMÁ, N. B.; KOBAYAMA, M. Análise de *cluster* da precipitação na bacia do rio Iguaçu, região sul do Brasil. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Brasília, 2015. p. 1-7

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – (UEM). *Conjuntos Nebulosos*.Maringá/PR. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ia/intelige/difusa/ldeias.htm>>. Acesso em: 02 /01/2015.

VALENTINE, J.M. **Fire danger rating in New Zealand: review and evaluation**. NZ For. Serv., For. Res. Instit., Prod. For. Div., Rotorua. For. Establishment Rep. No. 123. 53,1998. p. (unpublished).

VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; COLLATZ, G. J.; KASIBHATLA, P. S.; ARELLANO, A. F. Interannual variability of global biomass burning emissions from 1997 to 2004. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 6, p. 3175–3226, 2006.

VAN WAGNER CE. **Development and structure of the Canadian forest fire weather index system**. Technical Report 35, Canadian Forestry Service: Ottawa, Ontario, 1987.

VÁZQUEZ, A., MORENO, J.M. Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic areas of Spain. **Landscape and Urban Planning**,24,1993. p.129-142.

VÁZQUEZ, A., MORENO, J.M. Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos Central Spain. **Forest Ecology and Management**, 147,2001. p. 55-65.

VÉLEZ, R. High Intensity Forest Fires in the Mediterranean Basin: Natural and Socioeconomic Cause, **Disaster Manage**, n. 5, 1993. p. 16-20.

VERDE, J. C.; ZÊZERE, J.L. A cartografia de risco de incêndio como base para o fogo de gestão.**Anais...** In: Congresso da Geografia Portuguesa, 8., 2011. Lisboa, Portugal, 2011.6p.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, UFV, 2ed., 2012, 460p.

VIEGAS, D.X.; PIÑOL, J.; VIEGAS, M.T.; OGAYA, R.Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically based indices. **International Journal of Wildland Fire**,10, 2001. p. 223–240. doi:10.1071/WF01022

VIEGAS, D.X.; REIS, R.M.; CRUZ, M.G.; VIEGAS, M.; T.Calibração do sistema canadiano de perigo de incêndio para aplicação em Portugal. **Silva Lusitana**,v.12, n.1,2004. p. 77–93.

VIEGAS, D.X.; SOL. B.; BOVIO, G.; NOSENZO. A., FERREIRA A.D. Comparative study of various methods of fire danger. **International Journal of Wildland Fire**,1999. p. 235–246. doi:10.1071/WF00015

VIEGAS, D.X.; VIEGAS, M.T A relationship between rainfall and burned area for Portugal. **Int J Wildland Fire**,4, 1994. p.11–16.

VIEGAS, D.X.; VIEGAS, M.T.; FERREIRA, A.D. Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in Central Portugal.**International Journal of Wildland Fire**2, 1982. p.69–86. doi:10.1071/WF9920069

VILA, D.; GONCALVES, L. G; TOLL, D.; ROZANTE, J. Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimations over Continental South America. **Journal Hidrometeorological**. v.10, n. 2, 2008. p.533–543.

WHITE, A. A. S.; WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T. Evaluation of forest fire danger indexes for eucalypt plantations in Bahia.**Brazil. International Journal of Forestry Research**, 2015. 6p. DOI: 10.1155/2015/613736

WHITE, B. L. A. **Incêndios florestais no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2010

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, A. S. Utilização da FMA e da FMA⁺ como instrumento de medida de risco de fogo nos municípios que formam o Parque Nacional Serra de Itabaiana - Sergipe. In: Congresso Latino Americano de Ecologia, 3, 2009. **Anais...** São Lourenço, 2009.

WHITE, B. L. A.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. *Pesquisa florestal brasileira*, v.33, n. 73, p. 73-84, 2013.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 4, 2013.p. 601-610

WOTTON, B.M.; BEVERLY, J.L. Stand-specific litter moisture content calibrations for the Canadian Fine Fuel Moisture Code. *International Journal Wildland Fire*, s. 16, p.463–472, 2006.

XANTHOPOULOS, G; ROUSSOS, A.; GIANNAKOPOULOS, C.; KARALI, A.; HATZAKI, M. Investigation of the weather conditions leading to large forest fires in the area around Athens, Greece. **Advances in forest Fire Research**, 2014. p.1207-1212

XYSTRAKIS, F., KALLIMANIS, A. S., DIMOPOULOS, P., HALLEY, J. M., AND KOUTSIAS, N.: Precipitation dominates fire occurrence in Greece (1900–2010): its dual role in fuel build-up and dryness. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 14, 2014. p. 21–32, doi:10.5194/nhess-14-21-2014, 2014.

YEBRA, M Chuvieco; RIANO, D. Investigation of a method to estimate live fuel moisture content from satellite measurements in fire risk assessment. *Forest Ecological Management* , s.32, p.234-256, 2006.

ZUMBRUNNEN, T.; BUGMANN, H.; CONEDERA, M.; BÜRGI, M. Linking forest fire regimes and climate: A historical analysis in a dry inner Alpine Valley. **Ecosystems**, v. 12, 2009.p. 73-86.

APÊNDICE 1

Sistema para cálculo de FMA+ e distribuição de classes

Figura 1 – Tela de apresentação.



Fonte: o autor.

Figura 2 – Inserção e processamento dos dados.

Data	Umidade	Chuva	Vento	FMA+	Grau de Perigo	Incêndio
01/01/2010	64,8	0	8,52	2,169864195	Nulo	Não
02/01/2010	64,49	0	5,899	4,133151006	Pequeno	Não
03/01/2010	59,56	2,794	4,7155	4,572184885	Pequeno	Não
04/01/2010	58,69	0	5,538	6,698564519	Pequeno	Não
05/01/2010	54,71	0	7,505	9,166356159	Médio	Não
06/01/2010	61,47	0	9,59	11,55379442	Médio	Não
07/01/2010	65,38	0	9,185	13,76238328	Médio	Não
08/01/2010	61,1	0	7,19	15,94441913	Alto	Não
09/01/2010	58,62	0,508	4,946	18,02351735	Alto	Sim
10/01/2010	62,75	0	5,58	20,01566168	Alto	Sim
11/01/2010	55,64	0	6,2585	22,32418443	Alto	Sim
12/01/2010	64,17	0	8,83	24,54269127	Muito Alto	Sim
13/01/2010	65,8	0	7,3875	26,5849376	Muito Alto	Sim
14/01/2010	66,48	0	8,555	28,7029308	Muito Alto	Sim
15/01/2010	55,6	0	7,585	31,13900299	Muito Alto	Sim
16/01/2010	64,77	0,508	5,2195	33,04138664	Muito Alto	Não
17/01/2010	59,41	0	5,2485	35,11781156	Muito Alto	Não
18/01/2010	67,99	0,254	7,06	37,06855305	Muito Alto	Não
19/01/2010	59,48	0	5,537	39,16660666	Muito Alto	Não
20/01/2010	66,78	0	7,78	41,21072497	Muito Alto	Não
21/01/2010	63,54	0	8,645	43,4347098	Muito Alto	Não
22/01/2010	62,56	0	8,055	45,64084916	Muito Alto	Não
23/01/2010	59,4	7,62	5,1765	19,93984135	Alto	Não

INÍCIO

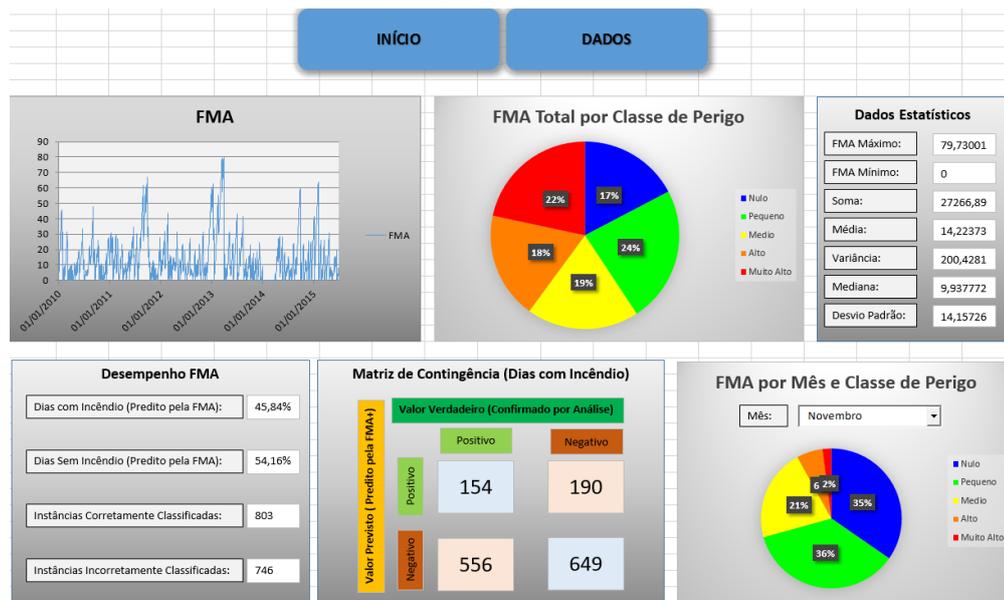
CALCULAR FMA

CARREGAR GRÁFICOS FMA

Valor de FMA+	Grau de Perigo
≤ 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: o autor.

Figura 3 – Análise dos resultados e visualização gráfica.



Fonte: o autor.

APÊNDICE 2

Documento do sistema do Banco de dados *RIF-Database*

Banco de dados destinado à análise de dados para cálculo de risco de incêndios florestais

NOME DO BANCO DE DADOS:

RIF-Database

TABELAS DO BANCO DE DADOS:

LOCALIDADES – localidades utilizadas nas demais tabelas do sistema

INCENDIOS – ocorrências de incêndio, por data e localidade

MEDICOES – variáveis obtidas das estações meteorológicas, por data e localidade

METRICAS – variáveis calculadas a partir dos dados das medições das estações meteorológicas, por data e localidade

RISCO – risco calculado para cada conjunto de variáveis obtidas das estações meteorológicas, por data e localidade

PROGRAMAÇÃO DO BANCO DE DADOS:

Stored Procedures

sp_insert_INCENDIOS
sp_insert_MEDICOES
sp_metricasIncendio_porLocalidade
sp_metricasIncendioMedias_todasAsLocalidades
sp_mediaRiscoGeral
sp_mediaRiscoIncendio
sp_mediaRiscoNaolIncendio
sp_select_RISCO
sp_populatabelaRisco

Triggers

tg_calcula_risco

DETALHAMENTO DOS PROGRAMAS

sp_insert_INCENDIOS

Função: Inserir novo dado de incêndio na tabela de incêndio.

Recebe os parâmetros:

@localidade float,
@regional nvarchar(30),
@tipo nvarchar,
@Data datetime,
@Hr datetime,
@AT_ha_ float,
@AAt_ha_ float,
@Idade float,
@X float, -- área afetada no incêndio
@Y float-- área afetada no incêndio

Retorna sucesso ou falha.

Exemplo de chamada

```
EXECUTE sp_insert_INCENDIOS 1, 'regional X', 'tipo Z', '18/12/2015', '18/12/2015  
15:00:00', 2, 1, 1, 1, 1  
;  
GO
```

sp_insert_MEDICOES

Função: inserir novo dado de medição na tabela de medições.

Recebe os parâmetros:

@localidade float,
@Data datetime,
@Temperatura float,
@F4 float,
@F5 float,
@F6 float,
@Umidade float,
@F8 float,
@F9 float,
@F10 float,
@Vento float,
@F12 float,
@F13 float,
@F14 float,
@F15 float,
@F16 float,
@Radiacao float,

@F18 float,
 @F19 float,
 @F20 float,
 @F21 float,
 @F22 float,
 @Chuva float,
 @F24 float,
 @F25 float,
 @F26 float,
 @PressaoVaporAguaSat float,
 @F28 float,
 @F29 float,
 @F30 float,
 @PressaoVapor float,
 @F32 float,
 @F33 float,
 @F34 float,
 @DPVKPa float,
 @F36 float,
 @F37 float,
 @F38 float,
 @DPVmb float,
 @F40 float,
 @F41 float,
 @F42 float,
 @VPDDaylight float,
 @F44 float,
 @F45 float,
 @F46 float

Retorna sucesso ou falha.

Exemplo de chamada:

```

EXECUTE sp_insert_MEDICOES 1, '18/12/2015', 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1
;
GO
  
```

sp_metricasIncendio_porLocalidade

Função: consultar todas as métricas calculadas para as datas nas quais houve incêndio, para uma localidade, ordenadas por data e onde nenhum dos valores seja nulo.

Recebe os parâmetros:

@localidade float

Retorna uma lista com todas as métricas selecionadas.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_metricasIncendio_porLocalidade1  
;  
GO
```

sp_metricasIncendioMedias_todasAsLocalidades

Função: consultar as todas as métricas médias calculadas para datas onde houveram incêndios, de todas as localidades, ordenadas por data e onde nenhum dos valores seja nulo.

Não precisa de parâmetros.

Retorna uma lista com um valor para cada localidade.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_metricasIncendioMedias_todasAsLocalidades  
;  
GO
```

sp_mediaRiscoGeral

Função: consultar o risco médio geral (todas as datas, com ou sem incêndio) para todas as localidades.

Não precisa de parâmetros.

Retorna uma lista com o risco médio geral para cada localidade.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_mediaRiscoGeral  
;  
GO
```

sp_mediaRiscoIncendio

Função: consultar o risco médio calculado sobre os valores das datas em que houveram incêndios, para todas as localidades.

Não precisa de parâmetros.

Retorna uma lista com o risco médio de incêndio para cada localidade.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_mediaRiscoIncendio  
;  
GO
```

sp_mediaRiscoNaIncendio

Função: consultar o risco médio calculado sobre os valores das datas em que NÃO houveram incêndios, para todas as localidades.

Esta função é o contrário da sp_mediaRiscoIncendio.

Não precisa de parâmetros.

Retorna uma lista com o risco médio calculado para as datas em que não houve incêndio, para cada localidade.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_mediaRiscoNaIncendio  
;  
GO
```

sp_select_RISCO

Função: selecionar o risco para uma dada localidade e data.

Recebe os parâmetros:

@localidade float,
@Data datetime

Retorna o risco para uma localidade e data.

Exemplo de chamada:

```
EXECUTE sp_select_RISCO 1, '01/01/2016'  
;  
GO
```

tg_calcula_risco

Função: para cada medição inserida no sistema, esta trigger calcula as suas métricas, insere na tabela de métricas, calcula a métrica média para as datas em que houveram incêndio para aquela localidade, compara a métrica calculada com esta média seguindo **critérios*** (ajustados dentro dela mesma) e atribui uma nota de risco entre 0 e 10 e grava esta nota na tabela de risco.

É uma função automática do sistema. Não pode ser executada separadamente como as demais. É disparada sempre que um novo dado de medição é inserido na tabela de medição.

* Os critérios formam a nota, e são:

```
if @localidade in (1, 4, 7, 9, 12, 15, 16, 21, 22)  
begin
```

```

if (@umid_min >= 56.12)
    set @risco = @risco + (2 * 2.92)
if (@umid_min >= 55.70 and @umid_min < 56.12)
    set @risco = @risco + (4 * 2.92)
if (@umid_min >= 46.82 and @umid_min < 55.70)
    set @risco = @risco + (6 * 2.92)
if (@umid_min >= 45.16 and @umid_min < 46.82)
    set @risco = @risco + (8 * 2.92)
if (@umid_min < 45.16)
    set @risco = @risco + (10 * 2.92)

if (@rad_sol_total <= 18.39 )
    set @risco = @risco + (2 * 1.34)
if (@rad_sol_total <= 20.39 and @rad_sol_total > 18.39 )
    set @risco = @risco + (4 * 1.34)
if (@rad_sol_total <= 23.83 and @rad_sol_total > 20.39)
    set @risco = @risco + (6 * 1.34)
if (@rad_sol_total <= 23.86 and @rad_sol_total > 23.83)
    set @risco = @risco + (8 * 1.34)
if (@rad_sol_total >23.86)
    set @risco = @risco + (10 * 1.34)

if (@chuva >= 1 )
    set @risco = @risco +(2 * 1.09)
if (@chuva >= 0.69 and @chuva < 1 )
    set @risco = @risco +(4 * 1.09)
if (@chuva >= 0.21 and @chuva < 0.69 )
    set @risco = @risco +(6 * 1.09)
if (@chuva >= 0.15 and @chuva < 0.21 )
    set @risco = @risco +(8 * 1.09)
if (@chuva < 0.15 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.09)

if (@diassemchuva <= 7 )
    set @risco = @risco + (2 * 1.53)
if (@diassemchuva = 8)
    set @risco = @risco + (4 * 1.53)
if (@diassemchuva <= 12 and @diassemchuva > 8 )
    set @risco = @risco + (6 * 1.53)
if (@diassemchuva = 13)
    set @risco = @risco + (8 * 1.53)
if (@diassemchuva > 13)
    set @risco = @risco + (10 * 1.53)

if (@umid_min_med7d >= 59.77)
    set @risco = @risco + (2 * 1.72)
if (@umid_min_med7d >= 57.59 and @umid_min_med7d < 59.77 )
    set @risco = @risco + (4 * 1.72)
if (@umid_min_med7d >= 49.71and @umid_min_med7d < 57.59 )
    set @risco = @risco + (6 * 1.72)
if (@umid_min_med7d >= 48.26 and @umid_min_med7d < 49.71 )
    set @risco = @risco + (8 * 1.72)

```

```

if (@umid_min_med7d < 48.26 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.72)

if (@umid_min_med14d >=60.72)
    set @risco = @risco + (2 * 1.39)
if (@umid_min_med14d >= 58.39 and @umid_min_med14d < 60.72)
    set @risco = @risco + (4 * 1.39)
if (@umid_min_med14d >= 50.74 and @umid_min_med14d < 58.39)
    set @risco = @risco + (6 * 1.39)
if (@umid_min_med14d >= 48.85 and @umid_min_med14d < 50.74 )
    set @risco = @risco + (8 * 1.39)
if (@umid_min_med14d < 48.85 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.34)
end

else
if @localidade in (2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 19, 20, 23, 24, 25, 26)
begin
if (@umid_min >= 57.90)
    set @risco = @risco + (2 * 2.55)
if (@umid_min >= 54.23 and @umid_min < 57.90)
    set @risco = @risco + (4 * 2.55)
if (@umid_min >= 44.25 and @umid_min < 54.23)
    set @risco = @risco + (6 * 2.55)
if (@umid_min >= 39.09 and @umid_min < 44.25)
    set @risco = @risco + (8 * 2.55)
if (@umid_min < 39.09)
    set @risco = @risco + (10 * 2.55)

if (@rad_sol_total <= 17.40 )
    set @risco = @risco + (2 * 1.52)
if (@rad_sol_total <= 19.25 and @rad_sol_total > 17.40 )
    set @risco = @risco + (4 * 1.52)
if (@rad_sol_total <= 22.58 and @rad_sol_total > 19.25)
    set @risco = @risco + (6 * 1.52)
if (@rad_sol_total <= 23.13 and @rad_sol_total > 22.58)
    set @risco = @risco + (8 * 1.52)
if (@rad_sol_total >23.13)
    set @risco = @risco + (10 * 1.52)

if (@chuva >= 0.84 )
    set @risco = @risco +(2 * 1.03)
if (@chuva >= 0.63 and @chuva < 0.84 )
    set @risco = @risco +(4 * 1.03)
if (@chuva >= 0.2 and @chuva < 0.63 )
    set @risco = @risco +(6 * 1.03)
if (@chuva >= 0.06 and @chuva < 0.2 )
    set @risco = @risco +(8 * 1.03)
if (@chuva < 0.06 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.03)

```

```

if (@diassemchuva <= 7 )
    set @risco = @risco + (2 * 1.82)
if (@diassemchuva = 8)
    set @risco = @risco + (4 * 1.82)
if (@diassemchuva <= 11 and @diassemchuva > 8 )
    set @risco = @risco + (6 * 1.82)
if (@diassemchuva <= 13 and @diassemchuva > 11 )
    set @risco = @risco + (8 * 1.82)
if (@diassemchuva > 13)
    set @risco = @risco + (10 * 1.82)

if (@umid_min_med7d >= 60.61 )
    set @risco = @risco + (2 * 1.70)
if (@umid_min_med7d >= 56.60 and @umid_min_med7d < 60.61)
    set @risco = @risco + (4 * 1.70)
if (@umid_min_med7d >= 47.56 and @umid_min_med7d < 56.60)
    set @risco = @risco + (6 * 1.70)
if (@umid_min_med7d >= 46.03 and @umid_min_med7d < 47.56)
    set @risco = @risco + (8 * 1.70)
if (@umid_min_med7d < 46.03 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.70)

if (@umid_min_med14d >=61.50)
    set @risco = @risco + (2 * 1.37)
if (@umid_min_med14d >= 57.46 and @umid_min_med14d < 61.50)
    set @risco = @risco + (4 * 1.37)
if (@umid_min_med14d >= 48.16 and @umid_min_med14d < 57.46)
    set @risco = @risco + (6 * 1.37)
if (@umid_min_med14d >= 46.18 and @umid_min_med14d < 48.16)
    set @risco = @risco + (8 * 1.37)
if (@umid_min_med14d < 46.18 )
    set @risco = @risco + (10 * 1.37)
end

```

sp_populatabelaRisco

Função: executa a mesma função de cálculo de risco da trigger tg_calcula_risco. Esta Stored Procedure efetua os cálculos para a tabela de risco para as métricas já existentes e grava na tabela de riscos.

Deve ser utilizada somente pelo programador do sistema, com conhecimento em linguagem de programação T-SQL. Esta função é utilizada na elaboração do modelo, testes, ajustes dos critérios etc.

APÊNDICE 3

Exemplo de cálculo do modelo:

Em uma distribuição das classes, o pesquisador 1 encontrou a seguinte planilha:

Variáveis	Notas				
	10	8	6	4	2
Umidade mínima do dia	< 39,1	39,1 - 44,3	44,3 - 54,2	54,2 - 57,9	> 57,9
Dias sem chuva	> 13,0	13,0 - 11,0	11,0 - 8,0	8,0 - 7,0	< 7,0
Umidade mínima média dos últimos 7 dias	< 46,0	46,0 - 47,5	47,5 - 56,6	56,6 - 60,6	> 60,6
Radiação solar total do dia	> 23,1	23,1 - 22,5	22,5 - 19,2	19,2 - 17,4	< 17,4
Umidade mínima média dos últimos 14 dias	< 46,2	46,2 - 48,2	48,2 - 57,4	57,4 - 61,5	> 61,5
Precipitação	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,6	0,6 - 0,8	> 0,8

Após o cálculo da representatividade de cada variável o pesquisador encontrou a seguinte tabela:

Variáveis	Peso
Umidade mínima do dia	2,55
Dias sem chuva	1,82
Umidade mínima média dos últimos 7 dias	1,70
Radiação solar total do dia	1,52
Umidade mínima média dos últimos 14 dias	1,37
Precipitação	1,03

Ao atribuir as notas a cada variável de acordo com o valor presente no dia e multiplicar pelo peso representativo da variável, têm-se:

Variáveis	Valores de um dia qualquer	Atribui		Peso	Produto
Umidade mínima do dia	35	10		2,55	25,54
Dias sem chuva	10	6		1,82	10,89
Umidade mínima média dos últimos 7 dias	47	8	X	1,70	13,64
Radiação solar total do dia	15	2		1,52	3,03
Umidade mínima média dos últimos 14 dias	55	6		1,37	8,25
Precipitação	0	10		1,03	10,35

Para o cálculo do risco basta realizar o somatório dos valores finais:

$$\text{RISCO} = 25,54 + 10,89 + \dots + 10,35 = 71,69$$