

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA  
DIRETORIA DE ENSINO  
CENTRO DE ENSINO BOMBEIRO MILITAR  
ACADEMIA BOMBEIRO MILITAR**

**LUCAS ZACCHI RAUSIS**

**A INFLUÊNCIA DOS VALES NA PROPAGAÇÃO DO FOGO NOS  
INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**FLORIANÓPOLIS  
2019**

**Lucas Zacchi Rausis**

**A Influência dos Vales na Propagação do Fogo nos Incêndios Florestais**

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

**Linha de Pesquisa:** Combate a Incêndios: Estuda a direção, o preparo e o emprego de técnicas de investigação em caso de sinistros em espaços confinados, florestal e em ambientes especiais.

**Orientador:** Walter Parizotto – Ten Cel BM.

**Florianópolis  
2019**

*Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor com orientações da Biblioteca CBMSC*

**Rausis, Lucas Zacchi**

A influência dos vales na propagação do fogo nos incêndios florestais  
/ Lucas Zacchi Rausis. -- Florianópolis : CEBM, 2019.

71 p.

Monografia (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros  
Militar de Santa Catarina, Centro de Ensino Bombeiro Militar, Curso de  
Formação de Oficiais, 2019.

Orientador: Ten BM Walter Parizotto

1. Incêndio florestal. 2. Comportamento do fogo. 3. Vales. I.  
Parizotto, Walter. II. Título.

---

**LUCAS ZACCHI RAUSIS**

**A INFLUÊNCIA DOS VALES NA PROPAGAÇÃO DO FOGO NOS  
INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Monografia apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

**Banca Examinadora:**

**Orientador(a):**

---

Walter Parizotto

Ten Cel BM  
CBMSC

**Membros:**

---

Jefferson de Souza

Ten Cel BM  
CBMSC

---

Zevir Anibal Cipriano Junior

Maj BM  
CBMSC

**Florianópolis, 04 de novembro de 2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em especial, minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Agradeço meu pai, por toda sua dedicação e por ser um exemplo para mim e para meus irmãos. Sem ele eu não teria chegado até aqui. Agradeço minha mãe que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos. Agradeço minha namorada, que me deu total apoio e foi minha maior parceira ao longo dessa caminhada. Agradeço meus irmãos e sobrinhos. Meus companheiros de CFO, pela amizade e por tornar meus dias mais fáceis durante o curso. Por fim agradeço meus comandantes e instrutores que de alguma forma contribuíram para minha formação.

## RESUMO

O presente trabalho faz um estudo sobre a influência dos vales na propagação do fogo em incêndios florestais. Para obtenção dos dados foram coletadas diversas fontes bibliográficas acerca dos conhecimentos de incêndio florestal e comportamento do fogo a fim de subsidiar a compreensão do tema. Foi realizado também um experimento laboratorial, simulando a configuração do terreno a fim de identificar a velocidade de propagação do fogo e intensidade. Por fim, através da bibliografia estudada e do experimento realizado, conclui-se que os vales afetam de fato o comportamento do fogo em incêndios florestais. Eles alteram a velocidade de propagação do fogo, além de sua intensidade. Dessa forma, o presente estudo buscou contribuir para o conhecimento acerca da temática, proporcionando uma fonte de dados para consulta, além de subsídio para o planejamento de operações de incêndio florestal.

**Palavras-chave:** Incêndio Florestal. Comportamento do Fogo. Vales.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Acidentes com vítimas fatais associados com o comportamento extremo do fogo.	14
Figura 1 - Tetraedro do Fogo.....	18
Figura 2 - Fases da Combustão.....	19
Figura 3 - Mecanismos de Transferência de Calor.....	21
Figura 4 - Incêndio Superficial.....	23
Figura 5 - Incêndio Subterrâneo.....	24
Figura 6 - Incêndio de Copa.....	25
Figura 7 - Partes de um incêndio florestal.....	26
Figura 8 - Triângulo do Incêndio Florestal.....	31
Figura 9 - Velocidade de Propagação de um Incêndio.....	33
Figura 10 - Brisas de Vale e Montanha.....	35
Figura 11 - Brisa Marítima.....	35
Figura 12 - Diagrama das Propriedades dos Combustíveis Florestais.....	36
Quadro 2 - Combustível X Tempo de Retardo.....	40
Figura 13 - Grau de Inclinação x Fator Propagação.....	43
Figura 14 - Vale.....	44
Figura 15 – Mapa do relevo de Santa Catarina.....	45
Figura 16 - Movimentos de ar em um vale, simulando o efeito eruptivo.....	46
Figura 17 - Efeito Chaminé.....	47
Figura 18 - Crescimento da Velocidade de Propagação do Fogo em uma Encosta.....	48
Quadro 3 - Classificação da Velocidade de Propagação.....	50
Quadro 4 - Relação entre intensidade do fogo e comprimento das chamas, com a forma de combate.....	51
Figura 19 - Configuração da Mesa de Queima.....	54
Figura 20 - Ponto Inicial da Queima.....	54
Figura 21 - Propagação do Fogo a 0°.....	56
Quadro 5 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 0°.....	57
Figura 22 - Propagação do Fogo a 15°.....	58
Quadro 6 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 15°.....	58
Figura 23 - Comportamento do Fogo a 30°.....	59
Quadro 7 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 30°.....	60

Quadro 8 - Quadro Comparativo dos Ensaio.....	61
Gráfico 1 - Tempo para Atingir o Topo da Mesa.....	61
Gráfico 2 - Velocidade de Propagação.....	62
Gráfico 3 - Intensidade do Incêndio.....	63
Gráfico 4 - Relação entre a Temperatura e o Tempo.....	64

## **LISTA DE SIGLAS**

CBMSC – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina

CBMGO – Corpo de Bombeiros Militar de Goiás

CFCIF – Curso de Formação de Combatentes em Incêndio Florestal

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

*NWCG – National Wildfire Coordinating Group*

LEIF – Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
<b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
1.3 FUNDAÇÃO METODOLÓGICA.....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1 ASPECTOS GERAIS DO FOGO.....	17
<b>2.1.1 Fases da Combustão.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2 Mecanismos de Transferência de Calor.....</b>	<b>20</b>
2.2 INCÊNDIO FLORESTAL.....	22
<b>2.2.1 Incêndio de Superfície.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2 Incêndio Subterrâneo.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Incêndio de Copa.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4 Partes de um Incêndio Florestal.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.5 Principais Causas de Incêndios Florestais.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.6 Prevenção de Incêndios Florestais.....</b>	<b>28</b>
2.2.6.1 Prevenção das fontes de fogo.....	28
2.2.6.2 Redução da Propagação de Incêndios.....	29
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO DO FOGO NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	30
<b>2.3.1 Meteorologia.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.2 Combustíveis.....</b>	<b>36</b>
2.3.2.1 Quanto a Localização.....	37
2.3.2.2 Quanto as características.....	37
2.3.2.2.1 Quantidade.....	37
2.3.2.2.2 Tipo.....	38
2.3.2.2.3 Arranjo.....	38
2.3.2.3 Umidade nos Combustíveis Florestais.....	39
<b>2.3.3 TOPOGRAFIA.....</b>	<b>41</b>
2.3.3.1 Altitude.....	41

2.3.3.2 Exposição.....	42
2.3.3.3 Inclinação.....	43
<b>2.3.4 INFLUÊNCIA DOS VALES NA PROPAGAÇÃO DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS.....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.5 Variáveis do Comportamento do Fogo.....</b>	<b>49</b>
2.3.5.1 Velocidade de Propagação.....	49
2.3.5.2 Intensidade do Fogo.....	50
<b>3 Materiais e Métodos.....</b>	<b>53</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	53
3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	53
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
4.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 0°.....	56
4.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 15°.....	57
4.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 30°.....	59
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ENSAIOS.....	60
<b>5 Considerações Finais.....</b>	<b>65</b>
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	65
5.2 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS.....	65
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O fogo foi a primeira energia natural utilizada de forma intencional pelo homem. Quando uma chuva se aproximava, e notava-se que caíam raios, os homens paleolíticos já se atentavam às possibilidades de árvores serem incendiadas para que eles conseguissem fogo. Nessa época o homem não tinha controle total sobre essa energia e caso o fogo se apagasse teria que esperar uma nova tempestade. Nota-se, não de hoje, mas desde os primórdios do mundo, que os incêndios florestais sempre ocorreram. Ainda como no tempo dos povos antigos, atualmente, não se tem completamente o controle dessa energia, visto que os incêndios florestais ainda causam grandes estragos em nossa civilização.

De acordo com Parizotto et. Al. (2006):

“Os incêndios se constituem, sem dúvida, na maior ameaça para os povoamentos florestais e as florestas naturais. No entanto, o fogo, sempre esteve presente na Terra, influenciando de maneira significativa em vários aspectos da vida humana. Atualmente, porém, os incêndios florestais têm atingido níveis preocupantes, pois ameaçam a manutenção da biodiversidade, o rendimento sustentado das florestas, as benfeitorias e até mesmo vidas humanas”

Os incêndios florestais têm ganhado grande notoriedade em nosso país pelas grandes queimadas ocorridas na Amazônia. Entretanto, esse problema afeta grande parte dos estados brasileiros, trazendo prejuízos financeiros, ameaça a vidas humanas e à biodiversidade.

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Santa Catarina, dentre as diversas atividades que realiza, tem como competência o combate a incêndios florestais. Somente nos anos de 2017, 2018 e até setembro de 2019 constam nos sistemas do CBMSC 7.161 incêndios em vegetação na primeira e terceira região de bombeiro militar. (CBMSC, 2019).

Atender a esse tipo ocorrência requer muita destreza e conhecimento das guarnições de bombeiro militar, visto que o fogo e os incêndios florestais são muito imprevisíveis e perigosos. Essa imprevisibilidade se dá pelo fato do fogo se comporta de forma diferente a depender das condições meteorológicas, topográficas e dos combustíveis envolvidos. E isso pode expor os combatentes a diversos riscos. Infelizmente a lista de pessoas que perderam a

vida ou ficaram gravemente feridas ao serem expostas ao calor dos incêndios florestais é longa (Viegas, 2006).

Entender como o fogo se comporta sob diversas condições possibilita uma atuação mais segura, e conseqüentemente, diminui os prejuízos que ele possa vir a causar. A mudança de comportamento do fogo em vales, objeto de estudo desse trabalho, é um dos fatores que mais trazem prejuízos tanto humanos, quanto materiais às populações expostas. Dessa forma, salienta-se a importância desse estudo, pois segundo Viegas (2006) esse tipo de relevo causa os chamados comportamentos extremos do fogo, e acidentes fatais ao redor do mundo.

Sendo assim, observando-se a complexidade e a variedade de formas nas quais os incêndios florestais apresentam-se, se faz necessário um estudo mais aprofundado sobre o assunto, visto que o comportamento do fogo em incêndios florestais é mutável e muito perigoso tanto os que combatem, como para a população e a biodiversidade local.

## 1.1 PROBLEMA

Os vales causam uma importante mudança de comportamento nos incêndios florestais. Eles alteram de forma significativa a velocidade de propagação do fogo trazendo grandes impactos para todos os envolvidos. Normalmente, os efeitos causados por esse relevo estão associados aos acidentes que vitimizam, tanto combatentes, quanto civis. Diante disso há a necessidade de se aprofundar os conhecimentos referentes a esse fenômeno, visto que nosso estado possui características que possibilitam esse tipo de ocorrência. Sendo assim propõem-se como problema de pesquisa para esse trabalho a seguinte questão: **Qual a influência dos vales na propagação do fogo em incêndios florestais?**

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência dos vales na propagação do fogo em incêndios florestais através de simulações em laboratório.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- A) Apresentar os principais conceitos referente a incêndio florestal e comportamento do fogo.
- B) Identificar a velocidade de propagação do fogo em vales, em simulações de laboratório, sob os ângulos de 15° e 30°.
- C) Identificar a intensidade do fogo em vales, em simulações de laboratório, sob os ângulos de 15° e 30°.

### 1.3 FUNDAÇÃO METODOLÓGICA

Em relação a abordagem do presente trabalho, classifica-se como Quali-Quantitativa. Define-se dessa forma, visto que apresenta características tanto de uma pesquisa qualitativa quanto uma quantitativa. Pretende-se através de levantamentos bibliográficos, compreender de forma mais aprofundada o fenômeno em estudo, o que é um aspecto característico de uma pesquisa qualitativa. Por outro lado, busca-se mediante um experimento em laboratório, dados quantificáveis a fim de comprovar o levantamento bibliográfico realizado.

Quanto aos objetivos e natureza, pode ser classificada como uma pesquisa exploratória de natureza aplicada. Entende-se por exploratória, uma pesquisa que busca através dos seus métodos e critérios, uma proximidade da realidade do objeto. Conforme Gil (2007) esse tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. Já por natureza aplicada, Gerhardt e Silveira (2009) entendem que “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

Quanto aos procedimentos utilizados, caracteriza-se por ser um estudo experimental e uma pesquisa bibliográfica. De acordo com Gil (2007) “a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.”

Nessa pesquisa serão realizados experimentos com o intuito de analisar a influência dos vales na propagação de incêndios florestais. Para isso será utilizado a estrutura do Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais (LEIF), localizado no Centro de Referência de Desastres Urbanos do 14º Batalhão de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Quanto a pesquisa bibliográfica Fonseca (2002, pg. 32) relata que:

“é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta”

Sendo assim, a presente pesquisa trará, inicialmente, um levantamento bibliográfico acerca dos assuntos relacionados ao tema. E, posteriormente, será feita uma pesquisa experimental a fim de alcançar os objetivos propostos.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

O Estado de Santa Catarina possui um relevo muito acidentado, com formações de depressões, planaltos, planícies e serras. Essa diversidade geomorfológica possibilita, ao longo do tempo, a formação de vales profundos e grandes desfiladeiros. Além disso, há também, uma variação muito grande de altitude, onde podemos encontrar pontos baixos, como nas faixas litorâneas, e regiões muito altas, chegando a 1600 metros de altitude nas serras (Luiz, 2016).

Essas características são propícias para o surgimento de comportamentos extremos do fogo em incêndios florestais, justificando o presente estudo.

Além desse fator, o trabalho se justifica pela quantidade de vítimas que esses incêndios já causaram ao redor do mundo. Viegas e Simeoni (2011) apresentam através desse do quadro abaixo as fatalidades associadas ao comportamento extremo do fogo.

Quadro 1 - Acidentes com vítimas fatais associados com o comportamento extremo do fogo.

Ano	País	Vítimas
1949	Estados Unidos	13
1953	Estados Unidos	15
1966	Portugal	25
1984	Espanha	20
1985	Portugal	14
1986	Portugal	16
1990	Estados Unidos	6

Ano	País	Vítimas
1994	Estados Unidos	14
1996	Estados Unidos	12
1999	Espanha	4
1999	Portugal	2
2000	França	2
2000	Portugal	2
2003	Estados Unidos	2
2003	Portugal	2
2005	Espanha	11
2005	Portugal	4
2006	Portugal	6
2007	Croácia	11

Fonte: Viegas e Simeoni (2011)

Muitas dessas vítimas são bombeiros que tentavam combater os incêndios. É importante que se tenha conhecimento do assunto para que isso não venha a acontecer e para que se possa tomar melhores decisões frente a grandes incêndios. Esse assunto é algo estudado em muitos países. Em nosso país são poucos os autores que tratam do comportamento do fogo, especificamente, em vales.

Outro fator que justifica o trabalho é a utilização do Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais (LEIF) do CBMSC, localizado na cidade de Xanxerê. O laboratório possui equipamentos e estrutura para que esse tipo de pesquisa seja realizada. É essencial que a corporação utilize o espaço para produção de conhecimento na área, consolidando ainda mais o reconhecimento que possui em todo país.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será feito um levantamento bibliográfico, baseado em artigos, livros e *websites*, teses, entre outras fontes de pesquisa, a fim de elucidar o problema de pesquisa proposto nesse trabalho de conclusão de curso.

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DO FOGO

O fogo e a combustão são termos frequentemente utilizados de forma sinônima, entretanto, eles são distintos. O fogo é apenas uma das formas de combustão, ou seja, a parte visível do processo (CBMSC, 2018).

Esses termos de acordo com o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (2018) podem ser definidos como:

- Combustão é a ação exotérmica de uma substância combustível com um oxidante, usualmente acompanhada por chamas e/ou abrasamento e/ou emissão de fumaça.
- Fogo é o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.

O fogo também pode ser conceituado como um processo de oxidação rápido acompanhado de uma elevação da temperatura pelo aquecimento dos produtos gasosos da combustão e pela emissão de radiação visível e invisível (Curso de Formação de Combatentes em Incêndio Florestal, 2016).

Para que se tenha a existência do fogo são indispensáveis a presença de quatro elementos básicos. São eles o calor, o combustível, o comburente e a reação em cadeia. A combinação desses quatro elementos é denominada o “tetraedro do fogo”, onde a ausência de qualquer um desses elementos impede que a reação aconteça. (Cipriano Júnior, 2014).

Figura 1 - Tetraedro do Fogo.



Fonte: CBMSC, 2016

O combustível é toda a substância capaz de sofrer o processo de combustão, mantendo e propagando o fogo. Existem diversas substâncias combustíveis, sendo elas orgânicas e inorgânicas. Pode-se citar como exemplo de combustíveis orgânicos a gasolina, óleos, madeira e seus derivados, entre outros. Já os inorgânicos, que normalmente, não contribuem significativamente no processo de combustão por ser pouco combustíveis são o ferro, o magnésio, o sódio, etc. (CBMSC, 2016)

O comburente é um elemento capaz de ligar-se quimicamente ao combustível, e com isso, fazê-lo entrar em combustão. Normalmente, essa substância é o gás oxigênio presente no ar atmosférico. (Motta, 2008). Por sua vez o calor pode ser definido como a fonte de energia que dá início ao fogo, ou seja, é o componente energético que alimenta toda reação. Ele garante o aumento da temperatura necessário à inflamação dos combustíveis próximos e acelera as reações químicas da combustão (Lourenço et. al., 2006). Por fim as reações em cadeia são processos químicos que se autossustentam, isso é, que se mantém funcionando sozinhos até que sua matéria-prima se esgote. (Cabral Júnior, 2001).

### 2.1.1 Fases da Combustão

A combustão pode manifestar-se através de luz e calor. Pode ser definida como uma reação química do oxigênio com determinadas substâncias (combustíveis orgânicos), liberando água, dióxido de carbono e energia. Ela é, portanto, uma reação química em cadeia, que persistirá enquanto existir combustível, calor e oxigênio em proporções convenientes. (Lourenço Et. Al., 2006)

De acordo com Soares (2008) para acender o fogo, isto é, iniciar o processo de combustão é necessário uma fonte de calor inicial que pode ser um fósforo, um isqueiro, um cigarro aceso ou qualquer outra fonte de calor. O autor salienta que o calor é necessário para que o combustível aqueça até a temperatura de ignição. Isso ocorre porque todas as substâncias possuem uma temperatura de ignição, ou seja, uma temperatura na qual o combustível entra em combustão. Nos combustíveis florestais, normalmente, essa temperatura varia entre 260 e 400° C.

A combustão florestal compreende basicamente três fases como podemos ver na figura a seguir:

Figura 2 - Fases da Combustão.



Fonte: CBMSC, 2016

A fase inicial, denominada pré aquecimento, é a fase onde o material é seco, aquecido e parcialmente destilado, entretanto, ainda não há a formação de chamas. O calor elimina toda a umidade presente no combustível e seus componentes voláteis se movem para a superfície, sendo expelidos para o ar circulante. (Motta, 2008)

A destilação ou combustão dos gases é a fase em que os gases liberados na etapa anterior se acendem e queimam, produzindo chamas e altas temperaturas que podem atingir cerca de 1200° C. Nesta fase os combustíveis estão queimando, porém ainda não alcançaram o momento em que ficam incandescentes. (CBMSC, 2016)

Por fim, a incandescência ou consumo de carvão, o material combustível é consumido e há a formação de cinzas. O calor continua intenso, mas não há chama nem fumaça. (Motta, 2008).

### 2.1.2 Mecanismos de Transferência de Calor

Após iniciado o fogo, o calor deve ser transferido para outros combustíveis para que o incêndio florestal possa se propagar. Esse calor é transferido dos objetos com menor temperatura para os com maior. Dessa forma o combustível com menor temperatura recebe calor suficiente para que atinja a mesma quantidade de energia do outro objeto. O calor pode se propagar de três formas básicas: Condução, convecção e radiação.

A condução é a passagem de calor por um corpo sólido por contato molecular. Como exemplo se pode citar a queima de um tronco de uma extremidade até a outra como um pavio. (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2010)

Cabe salientar que a transferência de calor por condução não é de grande importância para os incêndios florestais, visto que a madeira, principal material orgânico combustível nesses incêndios, não é um bom condutor de calor.

A convecção pode ser compreendida pela corrente ascendente de ar quente que se desloca a partir da superfície do incêndio por meio da elevação de temperatura e consequente queda de densidade do ar. Pode favorecer o lançamento de materiais ardentes a partir da frente do incêndio para a vegetação que ainda não queimou. (ICMBio, 2010)

De acordo com Lourenço Et. Al.(2006):

“As correntes de convecção nos incêndios florestais explicam-se, em primeiro lugar, pelo aquecimento do ar, que se torna menos denso, mais leve, e, por isso, tem a tendência de subir. Depois, pelo vento e declive que empurram o calor numa determinada direção e encosta acima, as correntes de convecção aquecem, secam e destilam os combustíveis expostos, preparando-os para a queima.”

Esta forma de transmissão de calor é perigosa e é, por vezes, causadora de morte nos elementos que combatem incêndios florestais. (Lourenço Et. Al., 2006)

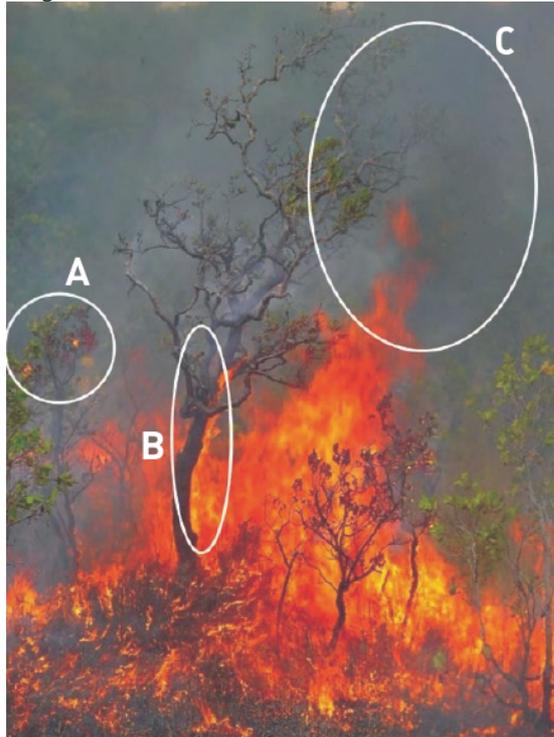
O Corpo de Bombeiros de Goiás (2017) conceitua radiação como: “um processo de transmissão de calor de um corpo para o outro através do espaço, realizando-se a transmissão por via dos raios de calor. Isto é, o calor é propagado através de ondas de energia que se dispersam em todas as direções (ICMBio, 2010)

Para Lourenço Et. Al. (2006) possui duas características notáveis. A primeira é que a radiação, a partir do ponto de emissão de calor, só aquece aquilo que se “vê”. E a segunda é que quanto mais longe estivermos da fonte de calor, menor é a influência da radiação.

Como exemplo desse mecanismo de transferência de calor pode-se citar o aquecimento provocado pelo sol ou até mesmo o calor irradiado por uma fogueira.

A imagem abaixo exemplifica os conceitos abordados anteriormente:

Figura 3 - Mecanismos de Transferência de Calor.



Fonte: ICMBio (2010)

No ponto A pode-se ver um ramo incendiado por radiação. Já no B, vê-se a chama subindo pelo tronco principalmente por calor transferido pela condução. Por fim, no ponto C, o calor ascende ao ambiente pela coluna de convecção.

Além das formas de transferência de calor já citadas, o Corpo de Bombeiros Militar de Goiás (CBMGO), ainda, cita uma quarta maneira. Seria através do deslocamento de corpos inflamados. A propagação do incêndio se daria através da queda ou do deslocamento de materiais (ou animais) que estão em chamas. Através do vento, esses corpos incandescentes seriam deslocados para novas áreas ainda não incendiadas, iniciando novos focos.

## 2.2 INCÊNDIO FLORESTAL

O incêndio pode ser definido como uma combustão rápida disseminando-se de forma incontrolável no tempo e espaço. (CBMSC, 2018). Esse conceito se aplica, também aos incêndios florestais.

Soares e Batista (2008, pg. 4) definem incêndio florestal como:

“Uma combustão não controlada que se propaga livremente consumindo os combustíveis naturais de uma floresta, tais como: gramíneas, folhas, tocos e galhos mortos e até mesmo a vegetação viva dependendo da intensidade.”

De acordo com os autores, a principal característica desses incêndios é que o fogo queima livremente, de acordo com as variações do ambiente. Devido as variações que afetam os incêndios ele pode, simplesmente, iniciar e atingir uma pequena área, como também, devido aos fatores que o afetam, propagar-se para grandes áreas e atingindo grandes proporções. Nesses dois casos o fogo está respondendo livremente aos estímulos externos.

Segundo Viegas e Cruz (2001, apud Martins, 2010) um incêndio florestal é na sua essência o reflexo do comportamento do fogo. Seu desenvolvimento, os efeitos dele provocados sob os solos e vegetação, a dificuldade de controle e combate, dependem, principalmente, do comportamento do fogo e a forma com que ele se adéqua as variações do ambiente.

Já para dos Santos (2009) o incêndio florestal é o resultado da ação do fogo sob uma cobertura vegetal, que em grande parte dos casos é causado pela perda de controle do fogo pelo homem. O efeito que esse fogo causa afeta a vegetação de uma região, trazendo danos ambientais à fauna e à flora, bem como prejuízo humano e material. No tocante assunto, cabe salientar que em pouquíssimos casos a ignição do fogo não é causada por humanos. Dentre as principais causas apenas o grupo dos raios não é de responsabilidade humana (Soares e Batista, 2007)

Os incêndios florestais causam muitos problemas em diversas escalas. No local em que acontece, geram degradação da vegetação, impactos à biodiversidade, prejuízos financeiros e até mesmo a perda de vidas. Além disso, a consequência deles, acarretam problemas para saúde humana e os meios de transportes regionais. Em uma escala global, promovem aumento

nas emissões de carbono para atmosfera podendo ter consequências para a progressão do efeito estufa. (Herawati e Santoso, 2011 apud Torres et al, 2017).

De forma sucinta, pode-se definir, então, o incêndio florestal como uma combustão livre, não limitada no tempo nem no espaço, dos materiais combustíveis existentes nas áreas florestais. (Lourenço et al, 2006)

Os incêndios florestais, podem, ainda, ser classificados levando em consideração o estrato do combustível envolvido no processo de combustão. São divididos em incêndio de superfície, subterrâneo e copa.

### 2.2.1 Incêndio de Superfície

Esse tipo de incêndio classifica-se por se propagarem junto ao solo, queimando restos de vegetais não decompostos, tais como folhas e galhos caídos, gramíneas, etc. Além disso se caracteriza por atingir o combustível florestal até uma altura de cerca de 1,80 metro. (Cipriano Júnior, 2016)

Normalmente os incêndios superficiais são os mais comuns em povoamentos florestais de diversos biomas e áreas de campo (Soares e Batista, 2007). A sua propagação é relativamente rápida, com grande quantidade de chamas e muito calor. Ademais ele pode dar origem aos outros tipos de incêndios quando em condições ideais. (CBMGO, 2017)

Figura 4 - Incêndio Superficial.

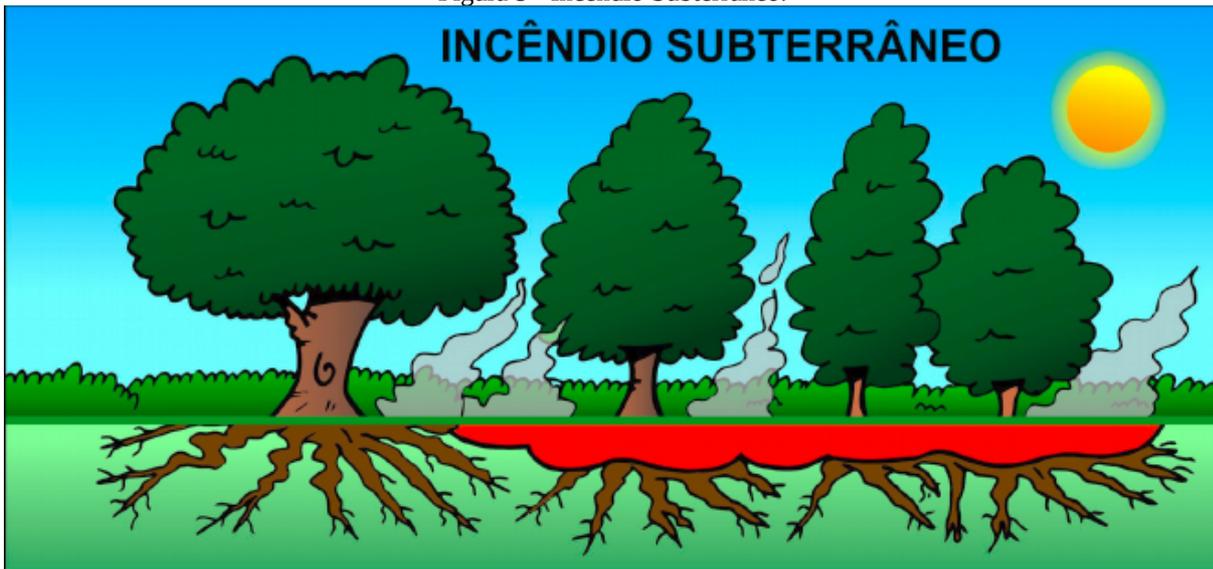


Fonte: Cipriano Júnior, 2016

### 2.2.2 Incêndio Subterrâneo

São incêndios que acontecem na vegetação tal como raízes, turfas e outros que se encontram sob o solo (ICMBio, 2010). Ele ocorre com maior frequência onde tem maior acúmulo de húmus e em terrenos alagadiços (brejos, pântanos, etc.) (CBMGO, 2017). Geralmente nesses locais há um acúmulo de matéria orgânica, que em determinadas circunstâncias, secam e entram facilmente no processo de combustão, originando os incêndios no solo. Ele é muito danoso às raízes e conseqüentemente causa a morte das árvores. Além disso é muito difícil sua detecção, visto que produzem pouca fumaça e sem chamas (Soares e Batista 2007). Sua propagação é lenta devido ao seu isolamento com a camada atmosférica (pouco oxigênio disponível), entretanto a intensidade do calor é muito alta.

Figura 5 - Incêndio Subterrâneo.



Fonte: CBMSC (2016)

### 2.2.3 Incêndio de Copa

Os incêndios de copa ocorrem quando o fogo atinge as camadas mais altas do combustível, a copa das árvores, e a propagação se dá através delas (Castro, 2003). Para caracterizá-lo melhor, pode-se dizer que acontece no estrato acima de 1,80 metro (CBMGO, 2017). A velocidade de propagação pode atingir velocidade acima de 10 km/h, ou seja, propaga-se de forma muito veloz. Esse tipo de incêndio é muito destrutivo para o bioma das

florestas e pode ocasionar diversos danos devido a sua velocidade e poder calorífico. Soares e Batista (pg. 6, 2007) relatam que nesse tipo de incêndio:

“A folhagem fica totalmente destruída e as árvores morrem devido ao superaquecimento do câmbio. Excetuando-se os incêndios ocasionados por raios, quase todos os incêndios de copas tem origens nos superficiais. É o tipo de incêndio mais perigoso que existe e provoca mais danos devido a grande intensidade e velocidade de propagação. O fator preponderante para a propagação do fogo é a presença de vento ou aclave acentuado que se aproxima das copas., facilitando a passagem do fogo de uma copa para outra. Outro fator importante para as ocorrências de incêndios de copas é a inflamabilidade da folhagem. As coníferas apresentam copas inflamáveis devido à presença de resina, portanto queimam mais facilmente do que a maioria das folhosas cujas copas são inflamáveis”

Cabe ressaltar que no Estado de Santa Catarina há a presença de grande quantidade de árvores da espécie coníferas, o que gera grande preocupação para esse tipo de incêndio, visto sua complexidade e dificuldade de combatê-lo.

Figura 6 - Incêndio de Copa.



Fonte: ICMBio (2010, apud. CBMGO, 2017)

## 2.2.4 Partes de um Incêndio Florestal

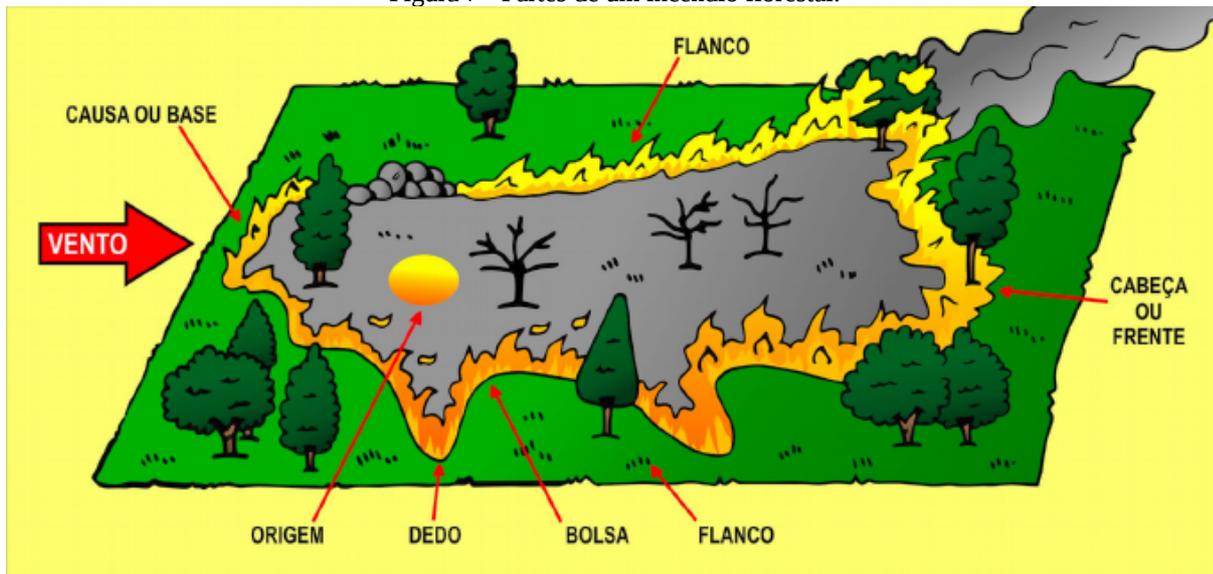
Compreender a morfologia de um incêndio florestal e suas partes é extremamente importante para os bombeiros. A medida que o fogo se desenvolve saber a forma a qual ele se propaga pode ser o divisor entre sua extinção e perda de controle.

Normalmente o fogo avança de forma circular, mas esse fator depende das condições climáticas e topografia do local. Se há presença de vento ele pode adotar a forma de uma elipse alongada. Caso ocorra em terrenos inclinado, a tendência é que ele evolua para cima, adotando uma forma triangular, por exemplo. (Soares e Batista, 2007)

Dessa forma, conhecendo o comportamento do fogo e analisando as condições ambientais pode-se distinguir as partes de um incêndio.

A figura a seguir, apresenta as partes de um incêndio florestal:

Figura 7 - Partes de um incêndio florestal.



Fonte: CBMSC (2016)

A frente ou cabeça é a região onde o incêndio se propaga com maior intensidade. A cauda ou base é a zona oposta à frente principal, local em que assume a menor intensidade, ainda que possa progredir por essa direção (CBMGO, 2017). Os flancos são as partes laterais entre a frente principal e retaguarda. É o local onde normalmente se inicia o combate para tentar chegar até a frente do fogo. Os flancos queimam menos intensamente que a frente. A intensidade cresce gradualmente da base para a cabeça, ao longo dos flancos. (Soares e

Batista, 2007). Os dedos formam-se a partir dos flancos enquanto as bolsas se localizam entre os dedos.

### **2.2.5 Principais Causas de Incêndios Florestais**

Geralmente, as principais causas dos incêndios florestais tem origem humana. A cada ano as estatísticas mostram uma elevação de casos em todo Brasil. Isso ocorre devido à fiscalização ineficiente, crimes impunes, práticas agrícolas prejudiciais ao ambiente, entre outros.

Em Santa Catarina, em 2019, no período de Janeiro a Setembro, houve um aumento de 23% nos focos de incêndio em comparação com o mesmo período do ano anterior. São quase trezentas ocorrências a mais (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019).

Soares, Batista e Santos (2005, apud Parizotto pg. 5, 2006) citam que:

“No Brasil maior parte dos incêndios florestais tem como causa uma ação humana direta, exceção apenas aos raios e estradas de ferro, somando os percentuais desses dois fatores anualmente chegamos ao máximo em 3%. Conhecer essas causas é importante e fundamental para se traçar os planos preventivos, pois é sobre as causas que devem repousar as ações.”

As causas de incêndios florestais podem ser classificadas quanto a origem. Podem ter origem natural, que é o caso das descargas atmosféricas por exemplo, ou origem humana, não sendo necessariamente intencional.

Dentre as principais causas destaca-se as queimas agrícolas para limpeza de terrenos; os fumantes que descartam pontas de cigarros ou fósforos na vegetação; os transeuntes que utilizam as florestas para diversão e acabam acendendo fogueiras; as estradas de ferro; as máquinas agrícolas; as linhas de alta-tensão em contato com a vegetação; os rituais religiosos, entre outros (Morais, 2011).

## 2.2.6 Prevenção de Incêndios Florestais

A prevenção de incêndios florestais tem como objetivo evitar que o fogo ocorra ou se propague. Geralmente ele ocorre por uma combinação de fatores que poderiam ser evitadas, visto que as principais causas são de origem humana (Parizotto, 2006).

A prevenção pode ser classificada de duas formas: prevenindo a fonte de fogo e a prevenção da propagação do fogo. (Velez, 2000).

De acordo com Motta (2008) uma prevenção só é efetiva se acompanhada por um planejamento sério, onde se deve avaliar os dados históricos, as causas de incêndios florestais na localidade, estimando-se a probabilidade de ocorrência do fogo e implementando medidas mitigadoras para impedir tais ocorrências. Além da preservação da vegetação local e os diversos danos que os incêndios florestais podem causar, a prevenção estatisticamente mostra que os investimentos nela feitos são compensadores em relação ao custo de combate, os quais envolvem riscos de acidentes e desgaste dos Bombeiros, desgaste de ferramentas e equipamentos, custo logístico e de transporte, entre outros custos.

Como citado anteriormente a prevenção pode ser categorizada em dois grupos, a seguir será vistos cada uma delas.

### 2.2.6.1 Prevenção das fontes de fogo

A prevenção das fontes de fogo tem por princípio evitar que o incêndio inicie. Conforme Soares e Batista (2007) divide-se em três grupos: Educação da população, regulamentação do uso da floresta e aplicação da legislação.

A população, como vimos ao longo desse trabalho, é o principal causador de incêndios florestais. Dessa forma a conscientização dessas pessoas é essencial. Necessita-se, nos locais com maior incidência, informar os moradores dos riscos que os incêndios podem acarretar através de campanhas educativas, com a distribuição de folhetos, exposição de cartazes, veiculação de notícias pela imprensa, etc.

A aplicação da legislação se refere a medidas repressivas e punitivas aos causadores. Consoante Parizotto (2006), embora existam leis rigorosas contra infrações dessa natureza é preciso que o ciclo judicial se complete, ou seja, que o causador seja identificado e julgado de acordo com as leis penais e administrativas do nosso País.

Por fim, a regulamentação do uso da floresta diz respeito a utilização da população para fins de lazer e recreação. Essa forma de prevenção traria normas de uso de determinado local, como a limitação de fazer fogueiras, por exemplo, em épocas suscetíveis às queimadas. Basicamente, seria restringir o uso em períodos críticos e propenso a acontecer incêndios florestais.

#### 2.2.6.2 Redução da Propagação de Incêndios

Ao iniciar o foco de incêndio, há de se ter medidas para que o fogo não avance e comprometa outras regiões. Para isso, utiliza-se técnicas para impedir que o fogo não se propague. Soares e Batista (2007) dividem de forma geral em três tipos: Construção e manutenção de aceiros; estabelecimento de cortinas de segurança e construção de barragens. No mesmo sentido, Parizotto (2006) cita as regras de silvicultura preventiva. Para Botelho (1996, apud Parizotto, 2006) a silvicultura preventiva é um conjunto de normas, que tem por finalidade reduzir a combustibilidade das estruturas vegetais na floresta, aumentando a sua resistência ao fogo, tornando-se o caminho mais prático e econômico de proteção. Conforme Parizotto (2006) as principais alternativas de silvicultura preventivas que podem ser aplicadas as áreas florestais são:

- Construção e manutenção de aceiros;
- Sistemas de cortinas naturais;
- Sistemas de acessos;
- Sistema de apoio a operações de combate a incêndio e socorro;
- Sistema de mananciais;
- Sistema de vigilância e detecção

Além dessas técnicas, emprega-se, também, as queimas controladas a fim de reduzir os materiais combustíveis da floresta para que o fogo não se propague. Sabe-se que o fogo pode ser muito danoso para o ambiente e para as pessoas. Porém, desde que o homem dominou seu uso, ele pode ser aplicado ao seu benefício. Soares e Batista (2007) citam alguns usos do fogo que podem ser utilizados:

- Redução do material combustível;
- Preparo do terreno para agricultura;

- Melhoria do habitat para a fauna silvestre;
- Controle de espécies indesejáveis;
- Controle de pragas e doenças;
- Melhoria de pastagens e;
- Melhoria Estética.

### 2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO DO FOGO NOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Como já vimos anteriormente o comportamento do fogo é influenciado por diversos fatores. Viegas (2006) cita que os incêndios florestais se propagam de maneira dinâmica no sentido de que, com muito poucas exceções, seu comportamento depende explicitamente na hora. Ou seja, os incêndios florestais comportam-se de acordo com os fatores ambientais no momento em que ele acontece.

Batista (1990, apud Beutling 2009) define o termo “comportamento do fogo” como a forma a qual os combustíveis entram em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga. Dessa maneira, para Gaylor (apud Beutling 2009) o comportamento do fogo é uma ciência que envolve a compreensão de como o fogo atua sobre as mais diversas condições.

Um incêndio florestal é influenciado por três fatores principais. Estes são clima, topografia e combustíveis. Cada um desses elementos possuem vários subelementos. Isto é, a combinação deles formam o contexto do comportamento do fogo. Entender como esses fatores interagem e afetam a formação de fogo são cruciais para interpretar adequadamente a queima de um incêndio (*National Wildfire Coordinating Group (NWCG), 2016*)

Para caracterizar os fatores que influenciam no comportamento do fogo os autores apresentam o triângulo do incêndio florestal, onde cada lado do triângulo representa um fator importante para a propagação dos incêndios.

Figura 8 - Triângulo do Incêndio Florestal.



Fonte: (ICMbio, 2010)

Dentre os principais fatores meteorológicos, destacam-se a temperatura, a umidade relativa do ar, a presença de vento e a precipitação. Já a topografia consiste em suas formas e acidentes geográficos como: Altitude (elevação), exposição a vertentes, inclinação, morfologia do terreno, etc. Por fim, os combustíveis também oferecem grande importância para o comportamento do fogo, visto que sem eles não há fogo.

Viegas (2006) ainda acrescenta um quarto elemento. Esse seria o Tempo. Para o autor apesar das condições locais permanecerem constantes, as características de propagação vão se alternando ao longo do tempo, evidenciando a importância dessa variável.

Nos capítulos que seguem, será visto detalhadamente como cada um desses fatores influem no comportamento do fogo.

### 2.3.1 Meteorologia

O clima pode afetar em muitos aspectos o comportamento do fogo. Entender o clima de uma região permite prever o comportamento do fogo, e conseqüentemente, definir ações para combatê-lo. O clima, certamente, é a variável do triângulo mais difícil de prever, visto que as condições meteorológicas podem mudar diversas vezes em um mesmo dia. (NWCG, 2008).

Essas condicionantes atuam em diferentes aspectos na vegetação. De acordo com Beutling (2009) a inflamabilidade dos combustíveis é afetada pela radiação solar e pela

temperatura do ar. A ignição e a propagação dos incêndios são influenciados pela umidade relativa do ar. Por fim, a intensidade da frente e o comportamento do incêndio sofrem interferência da estabilidade atmosférica.

Dentre os fatores que mais se destacam, pode-se citar a temperatura, a umidade relativa do ar, o vento e as precipitações.

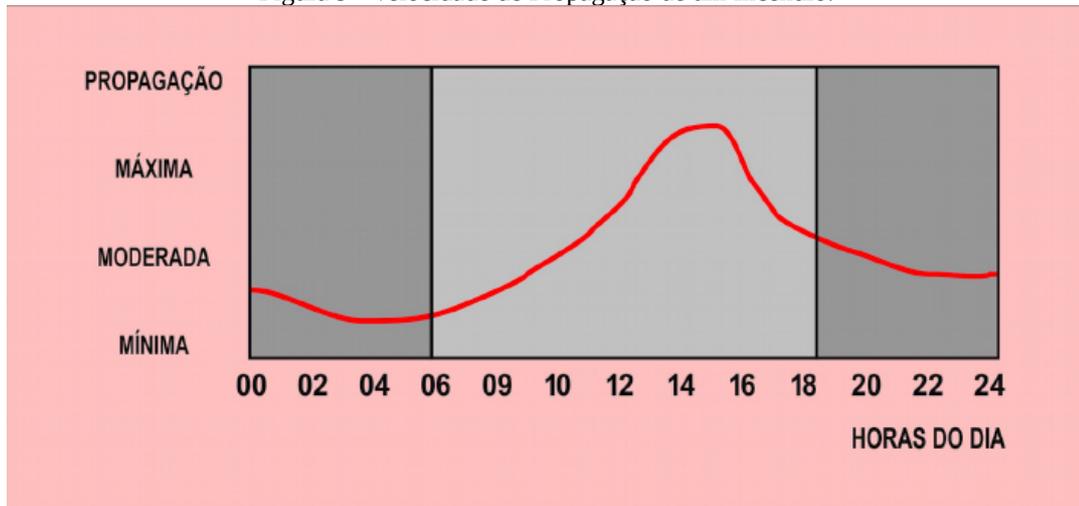
A temperatura é uma grandeza física que é definida como o estado de agitação das moléculas de um corpo. Pode-se dizer quanto mais agitadas estiverem as moléculas, maior será sua temperatura. O contrário também é verdadeiro, quanto menor a agitação, menor será sua temperatura. Quando um corpo fica quente, ou seja, aumenta sua temperatura, é correto dizer que ele está ganhando calor. (Anjos, 2019)

Através desse conceito, pode-se entender o efeito que a temperatura causa em um incêndio florestal. O calor, tem um efeito de ressecar a vegetação, tirando sua umidade e facilitando o início da propagação do incêndio. É importante ressaltar, que o frio também influencia no comportamento de um incêndio. Ele resseca e queima a vegetação, aumentando significativamente o risco de incêndio e sua propagação, principalmente, em locais onde é verificado a ocorrência de geadas. (ICMbio, 2010)

A umidade relativa do ar é um dos fatores mais importantes na propagação de um incêndio florestal. Soares e Batista (2008) definem umidade relativa do ar como uma relação entre a quantidade de vapor de água contido em um certo volume de ar. De acordo com os autores a umidade define, de certa forma a combustibilidade dos materiais presentes em uma floresta. Sendo assim, a baixa umidade seca a vegetação, o que facilita a iniciação de um incêndio e sua propagação. Além disso, a baixa umidade dificulta o combate. Quando ela baixa ao nível de 30% ou menos, torna-se extremamente difícil combater um incêndio.

As variações de umidade podem ser percebidas através da velocidade de propagação de um incêndio diurno e noturno. A imagem a seguir exemplifica essa situação:

Figura 9 - Velocidade de Propagação de um Incêndio.



Fonte: CBMSC (2016)

Durante o dia, o ar seco retira a umidade da vegetação, aumentando a velocidade do incêndio. Já durante a noite, período com maior umidade relativa, o incêndio diminui sua velocidade, visto que há mais vapor d'água no ar, e conseqüentemente, na vegetação. (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2006)

Outro fator importante é a precipitação, pois ela é responsável por umedecer a vegetação e dificultar o processo de combustão. Pode ser na forma de chuva, de orvalho, de névoa ou de neblina (ICMBio, 2010). Há uma forte relação entre grandes incêndios florestais e períodos de estiagem. Nesses períodos os materiais combustíveis cedem umidade ao ambiente, tornando as condições ideais para a ocorrência de incêndios. Há de salientar que a importância não é a quantidade de chuva, e sim, sua distribuição estacional. A frequência de queimadas é menor em regiões com chuvas uniformes, sem longos períodos de seca. Por outro lado, regiões que apresentam grande quantidade de chuva em um período curto de tempo, e grande períodos de estiagem, apresentam maior suscetibilidade ao fogo. (Soares e Batista, 2008)

Grande parte dos autores consideram o vento o maior causador de impactos no comportamento do fogo em incêndios florestais. Além de ser um fator extremamente imprevisível, o próprio fogo gera ventos próprios que são quase 10 vezes mais rápidos que o vento ambiente (Dos Santos, 2010). De acordo com o ICMBio (pg. 42, 2010):

“Quanto mais forte o vento, mais fácil o fogo se espalha, isto é, maior velocidade de propagação ele tenderá a apresentar. O vento fornece mais oxigênio (ar) e facilita a dessecação (perda de umidade) da vegetação. Além disso, ele interage com a coluna de convecção, espalhando fagulhas e brasas, o que pode causar outros focos de incêndios.”

De acordo com NWCG (2008) o vento determina a direção de propagação de um incêndio florestal e tem os seguintes efeitos:

- Efeitos Diretos – Intensifica a queima fornecendo oxigênio para o fogo, seca os combustíveis, tornando-os mais suscetíveis a ignição e, transporta brasas e faíscas a grandes distâncias, podendo iniciar novos focos.
- Efeitos Indiretos – Ventos fortes e secos absorvem a umidade dos combustíveis, por outro lado, ventos frios ajudam os materiais orgânicos a manter sua umidade. Como a velocidade e direção do vento podem mudar repentinamente, o comportamento do fogo também muda, podendo tomar outra direção, o que é muito perigoso para os combatentes envolvidos.

Cabe ressaltar que nos vales e declives o comportamento do vento é influenciado pela temperatura. Durante o dia o solo é aquecido e faz com que as correntes de ar subam pelos vales e aclives. Já durante a noite, o processo se inverte, visto que o solo refresca e as correntes tendem a inverter sua direção (CBMGO, 2017). Esse processo é muito importante para os bombeiros que combatem incêndios florestais, pois ao inverter a direção do vento, o incêndio, pode voltar sua frente aos combatentes e os tornar vulneráveis.

Segundo Lourenço et al (2006) há que contar sempre com dois tipos diferentes de ventos na propagação dos incêndios florestais: os ventos associados à circulação atmosférica geral e os ventos locais. O resultado da conjugação entre eles, determina o sentido e a intensidade de propagação.

Os ventos atmosféricos apresentam um rumo definido, e praticamente constante, são de intensidade moderada a forte. Pode apresentar modificações de rumo e velocidade de acordo com a disposição do relevo local. Já os ventos locais são conhecidos como brisas. Há as brisas de vale (diurna e noturna) que já foram citadas anteriormente, onde a temperatura é o fator que influencia a direção dos ventos.

Figura 10 - Brisas de Vale e Montanha.



Fonte: Lourenço et al (2006)

Outra brisa importante são as brisas marítimas. Durante a noite, a terra esfria mais rapidamente que o mar. Dessa forma o ar sobre a terra fica com maior pressão que o ar sobre o mar, soprando o vento da terra para o mar (vento terrestre). Ao longo do dia o efeito é contrário. O ar sobre a terra é aquecido e sua pressão baixa, soprando o vento do mar para a terra, visto que o frio ar sobre o mar tem uma pressão maior.

Figura 11 - Brisa Marítima.



Fonte: Lourenço et al (2006)

Conforme visto, os fatores meteorológicos influem de forma significativa no comportamento do fogo em incêndios florestais. É preciso estar sempre atento a essas condições, pois possibilita adotar políticas públicas visando diminuir os riscos e os potenciais danos causados pelo fogo.

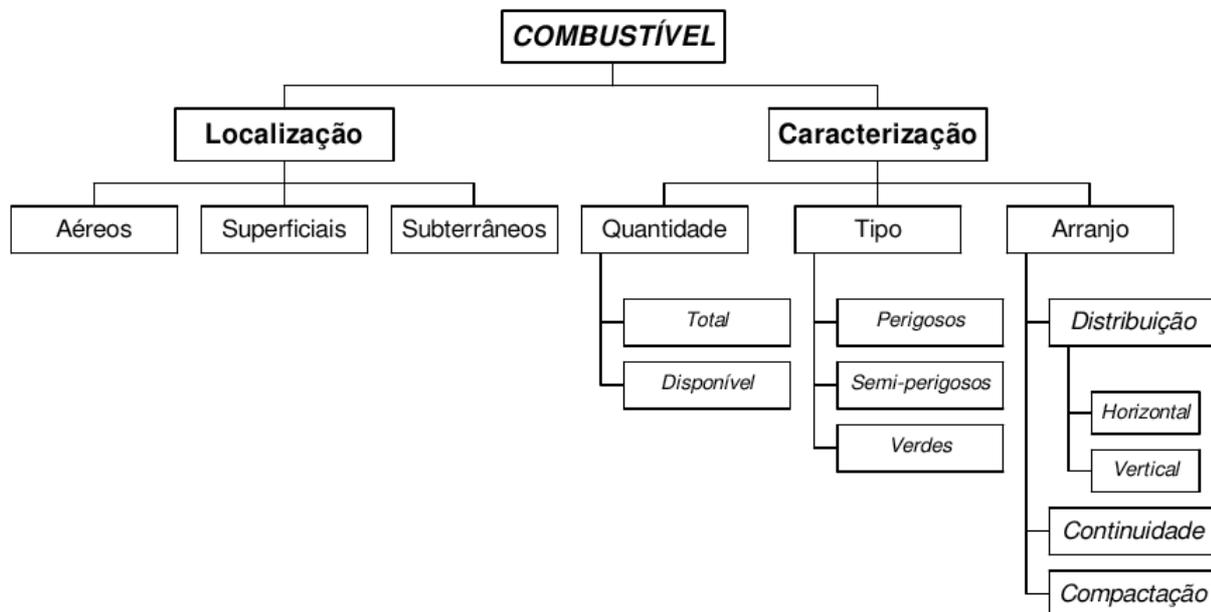
### 2.3.2 Combustíveis

Os materiais combustíveis são elementos fundamentais para ocorrência e propagação de um incêndio florestal. Eles são parte do tetraedro do fogo, e sem eles não há o fenômeno da combustão.

Os combustíveis florestais são todos os materiais presentes na vegetação, seja ele vivo ou morto, capaz de entrar em ignição e queimar. (Santos e Batista, 2008). Segundo Velez (2000) o início e a propagação dependem, mais do que qualquer outro fator, dos combustíveis florestais. Ainda consoante ao autor, para estimar corretamente o comportamento de um incêndio florestal necessita-se conhecer, antecipadamente, as particularidades dos diversos combustíveis presentes em determinada região.

Há diversas formas de classificar os materiais combustíveis presentes nas florestas mundo afora. Para fins didáticos, neste trabalho, classificar-se-á de acordo com Beutling (2005, apud Beutling 2009) como podemos ver no diagrama a seguir:

Figura 12 - Diagrama das Propriedades dos Combustíveis Florestais.



Fonte: Beutling (2009)

### 2.3.2.1 Quanto a Localização

Conforme o diagrama acima, os combustíveis pode ser classificados quanto sua localização como aéreos, superficiais ou subterrâneos. Por aéreos entende-se que são os combustíveis que se encontram acima de 1,80 m de altura. São as copas das árvores, galhos, musgos entre outros. Os superficiais são os encontrados acima do solo até 1,80 m de altura. É basicamente composto por folhas, galhos, arbustos, troncos e quaisquer outros materiais que se encontram nesse intervalo. Por fim os subterrâneos são os que estão abaixo da superfície, como húmus, raízes, madeira em decomposição, entre outros (Beutling, 2009)

A localização dos combustíveis também afetam o comportamento do fogo. Os superficiais são responsáveis pela ignição e desenvolvimento e propagação do fogo. Os arbustos podem transformar um incêndio de superfície em um incêndio de copa, muito mais perigoso e destrutivo que qualquer outro. Já os estratos subterrâneos podem realizar possíveis reignições. (Beuling, 2009)

### 2.3.2.2 Quanto as características

#### 2.3.2.2.1 Quantidade

As características são definidas de acordo com a quantidade, tipo e arranjo. Beutling (2009) cita que: “Estas características, em conjunto com os aspectos climáticos e topográficos da região, associados ao teor de umidade do material combustível, são os responsáveis pelo comportamento do fogo durante sua ocorrência.”

A quantidade é dividida em total ou disponível. Entende-se que nem todo combustível vegetal está disponível para o consumo do fogo devido a alguns fatores como à umidade, à proporção entre material vivo ou morto, o tamanho das partículas, enfim. Outro fator importante se refere a alternância de disponibilidade de acordo com a hora, período do ano, a vegetação, a intensidade do fogo e as condições meteorológicas (Batista, 1990, apud Beutling 2009).

Soares e Batista (pg. 10, 2008) relatam que:

“A quantidade de combustível existente em uma área indica se o fogo vai se propagar ou não e determina a quantidade de calor que será liberada na queima. Essa quantidade é geralmente expressa em toneladas por hectare ou quilogramas por

metro quadrado. Conforme informações experimentais, deve existir no mínimo 1,23 ton/ha de material combustível fino, seco, disperso em uma área para que um incêndio superficial possa se propagar.”

#### 2.3.2.2.2 Tipo

A caracterização quanto ao tipo se subdivide em perigosos, semiperigosos e verdes. O perigoso caracterizasse por ser de combustão rápida. É constituído por materiais leves e finos como folhas secas, pequenos galhos, acículas mortas, capim seco e pequenos arbustos. Esses materiais por serem pequenos e finos perdem umidade rapidamente para o ambiente, tornando-os ótimos combustíveis para iniciar um incêndio de forma rápida e de acelerada propagação (CBMSC, 2016).

Semiperigosos são os materiais lenhosos, húmus e turfa que em razão de sua estrutura e teor de água não queima tão rapidamente. Entretanto, caso incendeiem, podem desenvolver calor intenso (CBMGO, 2017)

Por fim, os verdes, são os materiais vivos da floresta. Podem ser considerados inflamáveis devido a grande quantidade de água presente em sua estrutura. Cabe salientar que eles também podem se tornar inflamáveis através do calor liberado na combustão de outros materiais (Beutling, 2009)

#### 2.3.2.2.3 Arranjo

O arranjo refere-se a distribuição, continuidade e compactação. A distribuição tem importância, pois de acordo com a posição, vertical ou horizontal, que o combustível ocupa no estrato vegetal, ele poderá transformar-se em um incêndio de copa. (Rego e Botelho, 1990 apud Beutling 2009)

A continuidade do combustível é uma característica usada para descrever o espaçamento horizontal e vertical dos combustíveis em uma dada área. A continuidade do combustível influencia a propagação do fogo. Compreender a continuidade do combustível ajuda a prever com melhor precisão como um incêndio se comportará. Em floresta em que a continuidade é uniforme o calor se transfere com facilidade e o incêndio se propaga normalmente (NWCG, 2008)

A compactação é a distribuição geométrica de combustível, ou seja, a proximidade das partículas de combustíveis uma das outras, em relação à livre circulação do ar em torno das partículas. Por exemplo, podemos citar a compactação de um feno no campo antes da colheita e um feno compactado depois de colhido. O feno antes de ser compactado possui uma circulação de ar entre suas partículas maiores que a do feno compactado. Sendo assim há mais oxigênio disponível para o feno no campo. Por essa razão o fogo tem maior dificuldade de se propagar em um feno compactado, pois possui menor quantidade de oxigênio circulando, do que no feno antes de ser colhido (NWCG, 2008). Pode-se dizer que a compactação é o oposto da continuidade, visto que quanto maior a continuidade maior a taxa de propagação, enquanto que maior a compactação significa menos calor e maior dificuldade de propagação, devido a menor quantidade de oxigênio entre as partículas. Portanto, uma forma de combater um incêndio é compactando seu combustível, pois, certamente, o fogo diminuirá sua intensidade ao se defrontar com ele (CBMGO, 2017).

### 2.3.2.3 Umidade nos Combustíveis Florestais

Outras características além das citadas no diagrama são importantes para esse estudo. O teor de umidade encontrado na vegetação influi de certa maneira o comportamento do fogo. Sabe-se que é possível queimar uma folhagem com 70% de água em suas estruturas, como também, uma folhagem com 5% de água. Entretanto há de se diferenciar o grau energético dispensado em cada um dos casos. Com certeza queimar uma vegetação com alto teor de umidade é necessário um gasto colorífico maior (Lourenço et al, 2006).

A condição orgânica do material está diretamente ligada com esse fator. A matéria orgânica viva (verde) possui umidade elevada. Já o combustível morto a quantidade de água é regida de acordo com a umidade de ar, uma vez que não se tem mais o controle de água feito pelas células vegetais. Ou seja, os combustíveis mortos só possuem água quando em contato com partículas advindas do ambiente. Em geral, em locais com baixa umidade os combustíveis mortos alteram a velocidade de propagação dos incêndios florestais. Quanto menor a umidade nos combustíveis, menor será seu período de pré-aquecimento e mais rapidamente o incêndio se propagará (CBMGO, 2017)

Dessa forma, pode-se dizer que a umidade tem influência direta no processo de combustão, pois ela afeta a temperatura de inflamabilidade da vegetação, visto que quanto

mais umidade conter o combustível maior é a energia necessária para vaporizar a água existente nele, e com isso, reduz a quantidade de calor disponível para a combustão (CBMGO, 2017).

Cabe salientar que o tamanho do combustível também se relacionam com a umidade. Combustíveis menores perdem mais facilmente umidade para o ambiente, e conseqüentemente ardem mais rápido e são mais suscetíveis à queima completa. É verdadeiro também, o quanto maior for o volume dos materiais leves, mais rápido será a propagação e mais intenso o incêndio. (ICMBio, 2010)

Quadro 2 - Combustível X Tempo de Retardo.

<b>Combustível</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Tempo de Retardo (hora)</b>
Leve (ervas, folhas, pastagens)	< 5	1
Regular (galhos e caules)	5 a 25	10
Mediano (galhos e caules)	25 a 75	100 (5 dias)
Pesado (galhos e troncos)	> 75	1000 (42 dias)

Fonte: (ICMBio, 2010)

A tabela acima demonstra o tamanho dos combustíveis em relação ao tempo de retardo. Isto é, tempo que uma partícula necessita para alcançar o estado de equilíbrio higroscópico com o ambiente. Pode-se perceber que combustíveis leves, com diâmetro até 5 mm, levam, em média, uma hora para equilibrar sua umidade com o ambiente. Ou seja, os combustíveis leves são os grandes responsáveis por iniciar o incêndio e acelerar sua propagação.

Conforme visto no nesse capítulo, conclui-se que os combustíveis são variáveis que devem ser analisadas cuidadosamente ao estudar o comportamento do fogo. A interação das diversas características dos mais variados tipos de combustíveis florestais, aliados sob a influência da umidade e outras condições climáticas ressaltam a complexidade que é prever o comportamento do fogo nesse cenário. Isso aumenta a necessidade de buscar conhecimento, pois só assim é possível compreender sobremaneira o comportamento do fogo e a essência para o controle do mesmo.

### 2.3.3 TOPOGRAFIA

A topografia, dentre os fatores que influenciam o comportamento do fogo nos incêndios florestais, é o assunto de grande destaque nesse trabalho. Como proposto nos objetivos, tem-se o intuito através dessa pesquisa, analisar a influência dos vales na propagação do fogo em incêndios florestais. Nesse capítulo, será visto a influência dos terrenos sob o fogo, ou seja, a forma em que os acidentes geográficos interferem na propagação de incêndios florestais.

A topografia pode ser definida como a ciência que estuda as características presentes na superfície de algum território, como alto ou baixo relevo, declínio ou algum outro acidente geográfico que possa estar presente em um determinado local (Santiago e Cintra, 2017).

É possível dizer que a topografia influencia o clima e determina o tipo de combustível presente em uma determinada região. Sabendo que o a meteorologia e os combustíveis são fatores que combinados alteram comportamento do fogo, dessa forma, pode-se afirmar que a topografia também é um dos fatores que atua nesse contexto (Soares e Batista, 2008). Os autores afirmam que (Soares e Batista, pg. 15, 2008):

“A topografia afeta profundamente as características dos ventos, particularmente ventos convectivos. Além disso, é responsável pela localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre seu crescimento e inflamabilidade devido seus efeitos sobre o clima”

Dentre os fatores que atuam no comportamento do fogo, Ferrer (2004) cita que a topografia é a mais constante, isto é, o que menos varia, tornando-se, assim, mais fácil o seu estudo.

Para entender a ação topográfica no comportamento do fogo é necessário analisar algumas de suas principais características. A seguir será abordado esses assuntos.

#### 2.3.3.1 Altitude

A altitude é a distância, medida na vertical, entre um dado ponto e o nível médio das águas do mar (Lourenço et al, 2006). A medida que vamos nos afastando do nível do mar e ganhando altitude, algumas mudanças são perceptíveis, como o clima e o relevo, por exemplo.

A relação entre a altitude e temperatura é inversamente proporcional, ou seja, a cada 180 metros de altitude há um decréscimo de 1 °C (Fury, 1974 apud. Fritzsons, Mantovani, Wrege, 2016). Locais com pouca altitude apresentam estações mais longas suscetíveis a incêndios florestais.

Além da variação da temperatura, a altitude também altera o desenvolvimento da vegetação local. Em geral, quanto mais baixo o terreno mais repleta é a vegetação pela maior disponibilidade de água (ICMBio, 2010). Em geral, áreas elevadas dificultam a presença de árvores de grande porte.

Struminski (2005) afirma que no fundo de vales há um maior potencial de propagação durante o dia, já nas montanhas esse fator se inverte. Isso porque a dissipação do calor do dia é mais lenta nos topos, devido, principalmente, aos movimentos convectivos das massas de ar aquecidas pela radiação solar.

É essencial que as equipes de combate conheçam esses fatores, e saibam como a topografia pode afetar comportamento do fogo, pois assim se pode planejar o horário mais propício para o combate e prever para onde o incêndio pode evoluir.

#### 2.3.3.2 Exposição

A exposição refere-se a posição das encostas frente a radiação solar. Isso é importante pois a radiação solar afeta o crescimento da vegetação e a condição dos combustíveis. Geralmente as vertentes viradas para o norte registram maiores temperaturas que as posicionadas ao sul. Isso é perceptível analisando a vegetação local, pois normalmente se adaptam as condições climáticas da região (Castro, 2003). A maior exposição solar faz com que os combustíveis sequem mais rápidos e se tornem, assim, mais vulneráveis ao fogo.

Nas regiões influenciadas por geadas (sul do país), as encostas voltadas para o sul tendem a sofrer pelo avanço das massas de ar polares, pois é desse quadrante que elas avançam sobre o Brasil. Ou seja, a vegetação exposta as geadas ressecam e, também, ficam suscetíveis a ação do fogo (ICMBio, 2010)

### 2.3.3.3 Inclinação

A inclinação é o fator que certamente mais afeta o comportamento do fogo quando se fala de topografia. Como regra básica, sabe-se que o fogo se propaga mais rapidamente nos aclives que nos declives. Quanto mais ingreme o morro mais rapidamente o fogo se propaga, principalmente, pelos efeitos da convecção e radiação. Em terrenos em declive o fogo é mais lento, pois nele não atua as correntes convectivas, que atuam no sentido oposto não aquecendo os combustíveis (CBMGO, 2017).

Soares e Batista (pg 15, 2008) afirma que o fogo se propaga mais rapidamente nos aclives pelos seguintes motivos:

- O fogo aquece e seca os materiais que se encontram na parte superior da encosta muito mais do que os que se encontram na parte de baixo devido ao fato do aclive aproximar o material das chamas, devido à ascensão do calor e também porque expõe uma superfície maior às ondas de irradiação do calor;
- As chamas estão mais próximas e chegam a entrar em contato com os materiais combustíveis das partes mais altas;
- A corrente de ar quente originada vai em direção à parte superior da encosta, devido a entrada de ar frio que penetra na parte de baixo.

Beutling (2009) menciona com base de experimentos laboratoriais que a partir da inclinação de 15° o terreno se torna o elemento que mais influência o comportamento do fogo, independentemente da quantidade de material disponível para queima no solo.

A imagem abaixo demonstra o fator de propagação utilizado no cálculo da velocidade de propagação do incêndio florestal em relação ao grau de inclinação do terreno.

Figura 13 - Grau de Inclinação x Fator Propagação.

<b>Grau de inclinação (%)</b>	<b>Fator de propagação</b>
0 a 5	1,0
6 a 19	1,5
20 a 39	2,0
40 a 70	4,5

Fonte: ICMBio (2010)

Apesar de incêndios em declives terem a propagação mais lenta, eles também apresentam riscos. É necessário ter cuidado com materiais incandescentes que possam vir a rolar encosta abaixo, iniciando novos focos e, também, trazendo riscos aos combatentes que estão atuando naquela localidade (Castro, 2003)

### **2.3.4 INFLUÊNCIA DOS VALES NA PROPAGAÇÃO DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Os vales interferem de forma significativa na propagação de incêndios florestais. Suas características possibilitam a ocorrência de comportamentos extremos do fogo. Será visto nesse capítulo esses fenômenos e os principais conceitos relacionados a propagação do fogo em vales.

Um vale é uma área de planície ou depressão encontrada entre montanhas e colinas, geralmente com córregos e rios que passam por ele. Apresentam lados arredondados que imitam uma forma de V ou U. É criado através da erosão por córregos ou ações glaciais. A imagem a seguir ilustra o conceito citado. (Ortenblad, 2018)

Figura 14 - Vale.



Fonte: Ortenblad (2018)

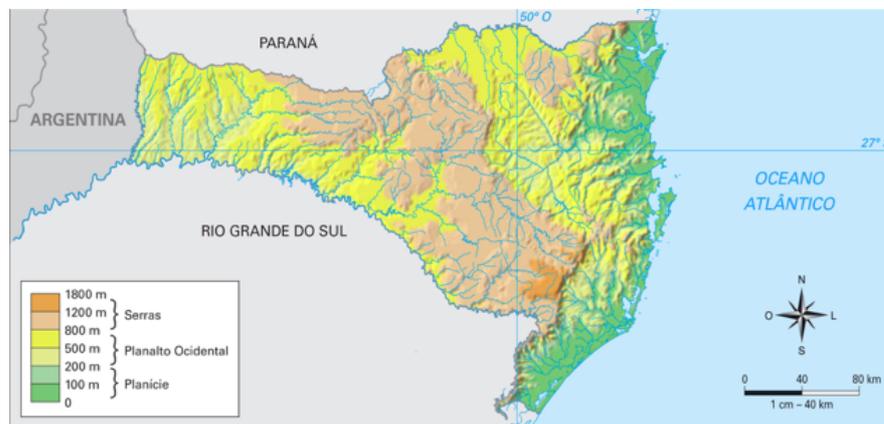
Existem diversos tipos de vales, e seu formato depende principalmente do tempo de erosão a que eles estão expostos. Geralmente, os expostos a mais tempo possuem a base maior e as vertentes mais desgastadas. Os mais novos são mais estreitos e com os lados menos inclinados.

No estado de Santa Catarina essas formações são muito frequentes, principalmente, na região leste do estado. Luiz (pg. 95, 2016) relata que:

“Na parte leste do estado, os relevos são modelados geralmente em rochas cristalinas e se apresentam muito dissecados, com vales profundos e muitas elevações na forma de morros e montanhas. Em direção oeste, para além da Serra Geral, o relevo é menos dissecado, excetuando os vales do rio do Peixe, Jacutinga, Chapecó, entre outros do Extremo Oeste.”

Além da formação dos vales, o Estado de Santa Catarina possuiu um relevo muito acidentado, onde se predominam os planaltos. O mapa A seguir ilustra a formação morfológica do Estado:

Figura 15 – Mapa do Relevo de Santa Catarina



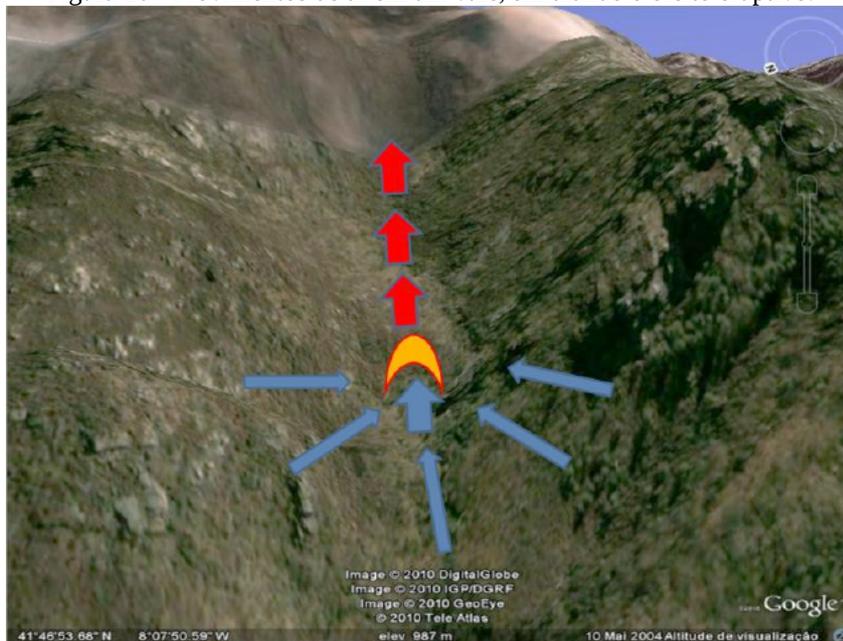
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015)

É possível visualizar através do mapa as características acidentadas do Estado. A Planície Costeira, indicada no mapa pela cor verde, é uma área de baixa altitude ao longo do litoral. A medida em que se desloca a oeste, entre a planície costeira e o planalto é possível encontrar as serras, geral e do mar. O Planalto é o relevo predominante em Santa Catarina, cerca de 65% do estado. Pode-se encontrar, também, áreas de pico, com grandes altitudes, depressões, vales e patamares.

Nos vales acontecem os chamados efeitos eruptivos do fogo. Esses efeitos de acordo com Viegas (2006), são eventos que se observa por vezes nos incêndios florestais. Consiste no rápido desenvolvimento de uma frente de chamas cuja velocidade de propagação aumenta subitamente. Segundo o autor (Viegas, 2006) “Este aumento de intensidade é acompanhado por correntes de ar muito fortes, que surpreendem os que se encontram na sua vizinhança e que têm causado muitos acidentes fatais em todo mundo”. Esse comportamento ocorre particularmente em regiões de desfiladeiros, vales ou encostas com elevado declive.

Os desfiladeiros fechados, com três paredes, caracterizando a formação de um funil, com declividades superiores a 30° graus proporcionam a ocorrência desse efeito. Isso pode aumentar repentinamente a velocidade de propagação do fogo, atingindo até 6 km/h. Nesses planos inclinados o movimento ascendente dos gases quentes induzem mais calor na frente de fogo, aumentando sua intensidade. A forte convecção gerada pelos movimentos de ar, também no sentido de propagação, que empurram o incêndio, aumenta as projeções e inclinam as chamas, aumentando assim sua velocidade. Todos esses fatores contribuem para a formação do chamado efeito eruptivo do fogo, um processo que se assemelha a uma erupção vulcânica (Martins, 2013)

Figura 16 - Movimentos de ar em um vale, simulando o efeito eruptivo.



Fonte: Martins (2010)

A imagem demonstra o fluxo normal de ar ascendente sendo afinado pela forma do terreno. Quando isso ocorre os gases são aspirados pela base e expelidos pelo topo. Esse efeito também é conhecido por “efeito chaminé” pois se assemelha de certa maneira o funcionamento de uma.

A imagem a seguir demonstra o chamado “efeito chaminé” em um incêndio florestal:

Figura 17 - Efeito Chaminé.

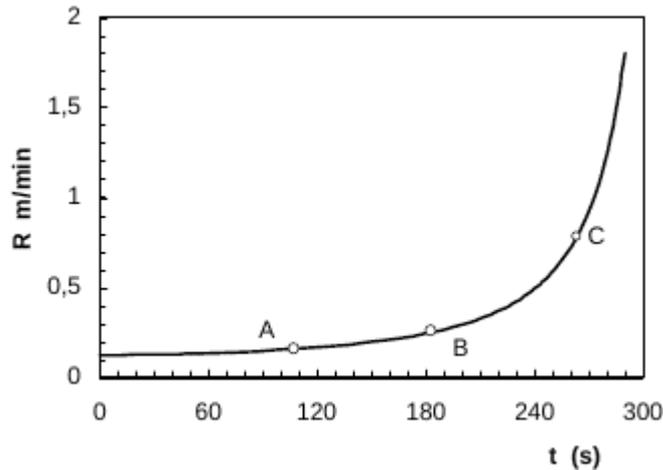


Fonte: (Carvalho e Oliveira, 2013)

Explica-se o fenômeno através da convecção dos gases. Esse é um processo caracterizado pelo movimento dos gases devido a sua diferença de densidade. Os gases aquecidos pelo incêndio se tornam menos densos que o ar atmosférico e tendem a ascender, atingindo o topo do vale. O movimento dos gases quentes dão espaço para que o ar atmosférico, mais frio e denso, tome seu lugar (na base do vale). Esse processo se repete até que se tenha um equilíbrio de temperatura (Helenbrok, 2019). Dessa forma ele gera correntes convectivas de ar fortíssimas, que aumentam a velocidade de propagação do incêndio florestal inesperadamente. Quanto mais inclinado o plano (maior que 30°), e mais apertado o vale, mais violento será o efeito.

Para demonstrar essa aceleração inesperada do fogo, Viegas (2006) desenvolveu estudos laboratoriais baseados em modelos matemáticos que confirmam o comportamento dinâmico do fogo e o aumento progressivo da velocidade ao longo do tempo. A figura a seguir é o resultado obtido através do estudo:

Figura 18 - Crescimento da Velocidade de Propagação do Fogo em uma Encosta.



Fonte: Viegas (2010)

Os ensaios foram realizados em um ambiente controlado, onde não havia vento, os combustíveis eram homogêneos e a declividade constante. Mesmo assim se percebe o aumento repentino na velocidade, como se pode observar na figura 17. Até o ponto “B” a velocidade progredia lentamente. Quanto atinge o ponto “C” ela acelera bruscamente em um intervalo muito pequeno de tempo (Viegas, 2006).

São essas as razões pelas ocorrências de diversos acidentes fatais relacionados a esse fenômeno eruptivo. Martins (2010) afirma que quando isso ocorre qualquer tentativa de controle é ineficaz e pode se tornar fatal.

Há inúmeros casos envolvendo morte de bombeiros e civis relacionado ao comportamento extremo do fogo. Nos Estados Unidos, um incêndio no *South Canyon* em 1994, resultou na morte de 14 bombeiros (Viegas, 2006). Em Guadalajara na Espanha (2005), onze combatentes perderam a vida (Pinar, 2005). Na Croácia em 2007, doze bombeiros morreram combatendo um fogo na ilha de Kornati (Rogulj, 2019). Esses são só exemplos dos muitos casos em que o comportamento extremo do fogo vitimou bombeiros.

De acordo com Viegas (2006) esse efeito deve ser compreendido pelos Bombeiros, que têm sido ao longo dos anos as principais vítimas. Como foi visto o efeito ocorre de forma inesperada. Por parecer um incêndio lento no início, os combatentes tendem a combater o fogo pela retaguarda e ir avançando pelos flancos, subindo as encostas de modo a envolver o perímetro do fogo. Em alguns casos os integrantes das equipes deslocam-se de modo a combater o fogo de frente, ficando expostos caso o efeito aconteça. Se o fogo não for combatido com rapidez, e as condições ambientais forem favorável para que o efeito

aconteça, provavelmente, os combatentes que estiverem no caminho do fogo se tornaram vítimas (Viegas, 2006).

Por essas razões faz-se muito importante o estudo do comportamento do fogo em vales, visto que o efeito eruptivo do fogo é um dos fenômenos que mais mata combatentes e civis no mundo inteiro. Entender o fenômeno e suas causas é fundamental para que se possa tomar atitudes a fim de salvar vidas, tanto da população, quanto dos que o combatem.

### **2.3.5 Variáveis do Comportamento do Fogo**

Para a compreensão do comportamento do fogo é necessário entender algumas variáveis que se alteram de acordo com os fatores aos quais ele está exposto. Foi visto ao longo desse trabalho que os combustíveis, o clima e a topografia interferem diretamente nesse comportamento. Esses fatores alteram tanto a velocidade de propagação de um incêndio florestal, como também a sua intensidade. Essas variáveis foram utilizadas para que se pudesse analisar a propagação do fogo nas simulações realizadas no Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais (LEIF).

#### **2.3.5.1 Velocidade de Propagação**

Entende-se como velocidade de propagação de um incêndio florestal, basicamente, o espaço percorrido pelo fogo por unidade de tempo. Geralmente a medida é expressa por m/s, m/min, m/h ou km/h (Martins, 2010). Para o autor, esse parâmetro é essencial para o planejamento de ações de combate, bem como servir para estimar o tempo e as distâncias necessárias para efetuar algumas manobras.

A velocidade de propagação é tanto mais rápida quanto maior for o preaquecimento dos combustíveis a sua volata. Isso depende, também, do modo no qual o terreno se apresenta. Por exemplo em aclives, pela configuração do terreno, o fogo tende aquecer mais rapidamente os combustíveis que estão acima dele através das correntes convectivas (Lourenço et al, 2006).

Batista (2007, apud Vieira 2011) classifica a velocidade de propagação de acordo com a tabela abaixo:

Quadro 3 - Classificação da Velocidade de Propagação.

<b>Velocidade de Propagação (m.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classificação</b>
< 0,033	Lenta
0,033 – 0,166	Média
0,166 – 1,166	Alta
> 1,166	Extrema

Fonte: Batista (2007, apud Vieira 2011)

Viegas (2006) relata que há uma falsa ideia enraizada em muitas pessoas de que para determinada condição de terreno, de vegetação e de vento uma frente de fogo se propaga com uma velocidade fixa. De acordo com o autor e os estudos realizados por ele, a velocidade de propagação do fogo é dinâmica e se altera ao longo do tempo, independente das condições ambientais serem determinadas. Ou seja, o fogo se propaga em velocidades diversas, um exemplo é o que ocorre nos vales, onde a velocidade de propagação varia constantemente devido à convecção induzida pelo próprio fogo. Estudos realizados pelo autor em condições controladas, sem vento, mostraram que o incêndio ao iniciar na base de um desfiladeiro começa de forma circular e lenta. Ao fim de algum tempo, a cabeça do fogo, situada na parte mais elevada no perímetro do fogo, começará a intensificar-se ao receber o calor de toda a zona do incêndio que está abaixo dela. Dessa forma o comprimento das chamas na cabeça do fogo aumentará e com ele a velocidade de propagação. Isso devido ao vento induzido pelo próprio fogo, que causa um aumento de velocidade.

### 2.3.5.2 Intensidade do Fogo

A intensidade do fogo é definida por Byram (1959) como a liberação de energia por unidade de tempo e comprimento da frente de fogo. De acordo com o autor essa variável é o melhor indicador do comportamento do fogo. Outra forma de determinar a intensidade do fogo é multiplicando a velocidade de propagação, pela carga do combustível que está disponível e pelo calor libertado por unidade de peso de combustível (Martins, 2010). Essa equação é definida por Byram como:

$$I = H.w.r$$

Sendo:

$I$  = Intensidade do Fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )

$H$  = Poder Calorífico do Combustível ( $\text{Kcal Kg}^{-1}$ )

$w$  = Peso do Combustível Disponível ( $\text{Kg m}^{-2}$ )

$r$  = Velocidade de Propagação do Fogo ( $\text{m s}^{-1}$ )

A intensidade do fogo pode ser mensurada, também, através do comprimento da chama. Quanto maior a chama mais intenso é o incêndio. Pode-se medir essa intensidade através da seguinte equação (Beutling, 2009):

$$I = 62,08 \cdot h_c^{2,17}$$

Onde:

$I$  = Intensidade do fogo em  $\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ;

$H_c$  = Comprimento das chamas em metros (m)

O autor cita que o comprimento da chama é a real expressão das condições de queima do material combustível. O teor de umidade dos combustíveis, as declividades, as condições meteorológicas, os ventos e outros fatores condicionam o comprimento da chama em um incêndio florestal.

Parizotto (2006), através do quadro abaixo, faz uma relação entre o comprimento de chama e a intensidade do incêndio florestal. Quanto maior o comprimento de chama mais intenso será o incêndio.

Quadro 4 - Relação entre intensidade do fogo e comprimento das chamas, com a forma de combate.

<b>Comprimento das chamas (m)</b>	<b>Intensidade do fogo (<math>\text{Kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}</math>)</b>	<b>Indicações sobre o comportamento do fogo e meios de combate.</b>
< 1,2	< 80	Os incêndios geralmente podem ser combatidos diretamente, na cabeça ou nos flancos usando-se ferramentas manuais, pequenos aceiros manuais são suficientes para segurar o fogo.
1,2 a 2,4	80 a 400	Os incêndios são muito intensos para se usar o método direto, aceiros manuais não conseguem segurar o fogo, equipamentos para bombeamento de água e tratores com laminas são necessários para se combater o fogo.
2,4 a 3,3	400 a 800	Os incêndios podem apresentar sérias dificuldades para serem controlados e combatidos, pois apresentam

<b>Comprimento das chamas (m)</b>	<b>Intensidade do fogo (Kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Indicações sobre o comportamento do fogo e meios de combate.</b>
		queima de copa e com isso muito fagulhamento.
> 3,3	> 800	São incêndios extremamente violentos, com queima total da floresta e intenso fagulhamento, nada pode ser feito na frente do fogo, deve-se esperar por uma redução da intensidade do fogo, geralmente causada por mudanças climáticas.

Fonte: Parizotto (2006, p. 41-42)

Normalmente, os incêndios em vale, quando ocorre o fenômeno eruptivo do fogo, apresentam a configuração explicada por Parizotto (2006) quando a intensidade ultrapassa 800 kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. São incêndios violentíssimos e muito difíceis de ser combatido.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos dessa pesquisa foram realizados no Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais (LEIF), do CBMSC, localizado na cidade de Xanxerê. O laboratório possui uma rampa de queima automatizada, onde pode-se simular diversas variações de terreno, de clima, de combustíveis florestais, entre outros. Para esse estudo se utilizou a rampa de queima para simular a configuração de um vale, conforme os objetivos propostos nesse trabalho.

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Abaixo estão os materiais utilizados para os experimentos:

- Feno;
- Gasolina;
- Barbante;
- Fósforo;
- Rampa automatizada de teste de queima (altura de 1,50 m do chão; área total de 8,7 m<sup>2</sup>);
- Câmera Térmica Flir K50 para medir a temperatura;
- Cronômetro;
- Régua de metal;
- Transferidor de ângulo meia lua;
- Higrômetro – medidor de umidade;
- Câmera Fotográfica;
- Balança.

#### 3.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a realização desse trabalho foram feitos seis ensaios. Em todos eles foram dispostos cerca de 10 kg de feno sobre a rampa de queima, que possui 8,7 m<sup>2</sup> de dimensão

(2,90 m de largura por 3 m de comprimento). Observou-se a proporcionalidade entre o feno e a mesa, com cerca de 15 cm de espessura de manta em toda área.

A mesa foi posicionada com um aclave fixo de 30°, variando apenas as inclinações das encostas. A imagem a seguir demonstra essa configuração:

Figura 19 - Configuração da Mesa de Queima.



Fonte: do Autor

Utilizou-se o valor fixo de 30° (Ponto A) no aclave, pois de acordo com Viegas (2006) é a inclinação mínima para que o fenômeno aconteça. Além disso, variou-se a inclinação das encostas de 0° (queima padrão de controle), 15° e 30° (Ponto B). Para variar a inclinação, utilizou-se um transferidor de ângulo meia lua. Foram realizados dois ensaios para cada grau de inclinação citado anteriormente. Quanto mais afunilada as encostas, mais violento, também, será o incêndio. Sendo assim, mudou-se a inclinação das laterais a fim de identificar esse comportamento.

Com o feno disposto sobre a mesa, a queima foi iniciada na base da rampa em um único ponto. Para iniciar o fogo foi colocado um barbante embebido em líquido combustível e um fósforo, conforme a imagem abaixo.

Figura 20 - Ponto Inicial da Queima.



Fonte: do Autor (2019)

Após o início do fogo, foram avaliadas as variáveis de acordo com os objetivos propostos no trabalho. Para medir a velocidade de propagação do fogo, o cronômetro foi acionado no momento da ignição. Marcou-se um ponto a fim de calcular a velocidade da queima. Esse ponto era no momento em que o fogo atingia o topo da mesa. Esses valores possibilitaram calcular a velocidade de propagação. O cálculo realizado para medir essa variável foi o seguinte:

$$V = d/t$$

Onde:

V = Velocidade de Propagação (m.s<sup>-1</sup>)

d = Distância percorrida (m)

t = Tempo (s)

Para verificar a temperatura do incêndio, foi utilizado uma câmera térmica. A câmera foi posicionada a uma distância de um metro da mesa, sendo apontada para o mesmo ponto durante todo o experimento. A cada 20 segundos era realizado uma leitura no aparelho a fim de analisar o aumento de temperatura do incêndio.

A intensidade do incêndio foi calculada através da fórmula abordada no capítulo 2.

$$I = 62,08.h_c^{2,17}$$

Onde:

I= Intensidade do fogo em Kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>;

H<sub>C</sub>= Comprimento das chamas em metros (m)

No centro da mesa (1,5 m) foi colocado uma régua de metal onde mediu-se o comprimento das chamas naquele ponto. Frisa-se que a intensidade do fogo é uma das variáveis mais importantes para analisar o comportamento do fogo, entretanto é muito difícil medi-la com precisão, visto que as chamas variam de tamanho a todo momento. Utilizou-se como base para os cálculos um valor aproximado do comprimento das chamas medido na régua, subtraindo a altura da mesa naquele ponto.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 0°.

Os dois primeiros ensaios analisaram o comportamento do fogo a 0°. Eles foram realizados no dia 5 de outubro de 2019. O primeiro experimento iniciou-se às 10 horas e 51 minutos. Já o segundo às 12 horas e 27 minutos. A umidade relativa do ar naquele momento era de 70% no primeiro ensaio e 66% no segundo. A mesa estava com uma inclinação de 30° fixa. A ignição iniciou na base da mesa em um único ponto. O fogo, inicialmente, demonstrava um comportamento muito lento e um desenvolvimento circular. A medida em que o tempo passava, ele foi ganhando intensidade pela inclinação do terreno, que gerava correntes convectivas e acelerava a propagação. A temperatura também foi aumentando a medida em que o comprimento das chamas cresciam. Nesse momento o fogo já não se propagava de forma circular, e sim, em um formato parecido com a letra V. A propagação seguiu uma linha reta ao centro da mesa e atingiu o topo. Após atingir o topo o fogo foi se propagando para as laterais, consumindo o restante do combustível que sobrar.

A imagem abaixo ilustra a propagação do fogo com a inclinação a 0°:

Figura 21 - Propagação do Fogo a 0°.



Fonte: Do Autor (2019)

No quadro abaixo podemos analisar o comportamento do fogo na inclinação de 0°:

Quadro 5 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 0°.

<b>Ensaio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Inclinação Vale (°)	0°	0°
Hora (h/m)	10:51:00	12:27:00
Temperatura Ambiente	22,5°C	22,5°C
Umidade (%)	70,00%	66,00%
Temperatura Max Atingida (°C)	> 650°C	>650°C
Tempo de Queima Total (s)	231	207
Tempo para Atingir o topo (s)	141	142
Velocidade de Propagação Topo (m/s)	0,021	0,021
Comprimento das Chamas (m)	1,25	1,30
Intensidade do Fogo(kcal.m-1.s-1)	102,3245	111,4146

Fonte: Do Autor (2019)

Ao analisar o quadro, percebe-se que em ambos os ensaios a velocidade de propagação foi a mesma, 0,021 m/s, o que configura uma propagação lenta. Entretanto, foi perceptível o aumento da velocidade a medida em que o fogo avançava na parte superior da mesa. Da mesma forma foi o comportamento da temperatura. Ao iniciar o fogo a temperatura era baixa, por volta de 200 °C a um tempo de 40 segundos, a medida em que o incêndio ia ganhando força e as chamas aumentando de comprimento, o acréscimo da temperatura foi significativo. Após os 40 segundos iniciais a Câmera Térmica já marcava temperatura superior a 650 °C, valor máximo aferido pelo equipamento.

A intensidade dos primeiros ensaios pode ser classificada de acordo com Parizotto (2006) como incêndios intensos, visto que os valores variaram entre 80 a 400 (kcal.m-1.s-1), mais precisamente 102 kcal.m-1.s-1 no primeiro e 111 kcal.m-1.s-1 no segundo.

#### 4.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 15°.

O terceiro e quarto ensaio visavam analisar o comportamento do fogo com uma inclinação lateral de 15°. Como nos primeiros ensaios a mesa foi fixada com uma declividade de 30°, variando-se, apenas, a inclinação lateral, configurando a formação de um vale. Os experimentos foram realizados no dia 5 de outubro. Sendo o primeiro ensaio às 15 horas e 27 minutos e o segundo às 15 horas e 52 minutos. Naquele momento a temperatura ambiente era de 21 °C e a umidade relativa do ar de 69% no terceiro ensaio e 71% no quarto.

Da mesma forma dos ensaios padrões, a ignição do fogo nessa parte do experimento deu-se na base do vale, simulando o fogo ascendendo vale acima. A propagação do incêndio apresentou características semelhantes aos primeiros ensaios no início. O fogo demorou alguns segundos para iniciar a propagação, entretanto quando se desenvolveu completamente, subitamente, teve um aumento de velocidade muito característico dos incêndios em vales. A temperatura também teve um aumento repentino, variando rapidamente acima dos 650 °C após 30 segundos de queima.

As imagens abaixo representam a propagação do fogo com inclinação lateral de 15°:

Figura 22 - Propagação do Fogo a 15°.



Fonte: Do Autor (2019)

Através da imagem é possível identificar o comprimento de chama maior que nos primeiros ensaios, identificando, assim, um incêndio de maior intensidade. O quadro abaixo identifica as variáveis analisadas nesse experimento:

Quadro 6 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 15°.

Ensaio	3	4
Inclinação Vale (°)	15°	15°
Hora (h/m)	15:27:00	15:52:00
Temperatura Ambiente	21,3°C	21,1°C
Umidade (%)	69,00%	71,00%
Temperatura Max Atingida (°C)	>650°C	>650°C
Tempo de Queima Total (s)	123	145
Tempo para Atingir o topo (s)	55	73
Velocidade de Propagação Topo	0,055	0,041

Ensaio	3	4
(m/s)		
Comprimento das Chamas (m)	2,05	1,90
Intensidade do Fogo(kcal.m-1.s-1)	299,3581	253,8519

Fonte: Do Autor (2019)

O quadro acima demonstra que o fogo atingiu o topo da mesa em um tempo muito menor, em relação aos dois primeiros ensaios. A média do tempo para chegar ao topo no terceiro e quarto ensaio foi de 64 segundos, enquanto nos dois primeiros foram de 141,5 segundos, praticamente o dobro do tempo. A velocidade de propagação também dobrou comparada aos primeiros dois ensaios. A velocidade passou do patamar de lento para médio de acordo com a classificação vista no capítulo 2. Nessa classificação a velocidade é considerada mediana entre os valores de 0,033 m/s até 1,166 m/s. A intensidade do fogo foi visivelmente maior, visto o crescimento das chamas. Apesar do significativo aumento, a intensidade do incêndio permaneceu no mesmo patamar dos ensaios anteriores entre 80 a 400 (kcal.m-1.s-1).

#### 4.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO COM INCLINAÇÃO LATERAL A 30°

Os dois últimos ensaios foram realizados nos mesmos moldes dos primeiros. O quinto experimento iniciou às 14 horas e 12 minutos, já o sexto às 14 horas e 50 minutos. A temperatura ambiente era cerca de 21,5 °C e a umidade relativa do ar estava em 66% em ambos ensaios. Para realizá-los, mudou-se a inclinação lateral da mesa de 15° para 30°. O comportamento do fogo apresentou uma relativa mudança em relação aos anteriores. Após a ignição, o comprimento da chama já era significativo, caracterizando um incêndio de maior intensidade. Em poucos segundos o fogo já atingia grandes proporções e rápida velocidade. As imagens a seguir demonstram esse comportamento.

Figura 23 - Comportamento do Fogo a 30°.



Fonte: Do Autor (2019)

Percebe-se na primeira imagem que o comprimento da chama a uma inclinação de 30° é maior que o visto nos outros experimentos. Através do quadro abaixo, nota-se a diferença das variáveis em relação aos demais ensaios:

Quadro 7 - Valores das Variáveis do Comportamento do fogo a 30°.

<b>Ensaio</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Inclinação Vale (°)	30°	30°
Hora (h/m)	14:12:00	14:50:00
Temperatura Ambiente	21,5°C	21,8°C
Umidade (%)	66,00%	66,00%
Temperatura Max Atingida (°C)	>650°C	>650°C
Tempo de Queima Total (s)	79	83
Tempo para Atingir o topo (s)	47	50
Velocidade de Propagação Topo (m/s)	0,064	0,060
Comprimento das Chamas (m)	2,80	2,75
Intensidade do Fogo(kcal.m-1.s-1)	588,8681	566,2876

Fonte: Do Autor (2019)

Os dados demonstram a mudança do comportamento do fogo quando a inclinação está a 30°. Vê-se uma diminuição significativa do tempo total de queima e do tempo em que o fogo levou para atingir o topo da mesa. Conseqüentemente a velocidade também aumentou, mas ainda está classificada como uma velocidade mediana. O comprimento das chamas foi de 2,80 m no quinto ensaio e 2,75 no sexto. Parizzoto (2006), relata que esse comprimento de chamas pode gerar um incêndio de copas, muito difícil de ser combatido, além de produzir fagulhamentos que resultam na probabilidade de iniciar novos focos. Percebeu-se ao longo dos últimos ensaios um grande acréscimo de temperatura. A câmera térmica com cerca de 10 segundos já ultrapassava os 650 °C.

#### 4.4 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ENSAIOS.

Ao analisar os dados dos ensaios, percebe-se a gradativa mudança a medida em que se mudava a inclinação lateral da mesa. Principalmente a velocidade de propagação e a intensidade do incêndio. Essas duas variáveis são essenciais para identificar o comportamento

do fogo, visto que são as que mais influenciam em um incêndio florestal. São elas que definem as estratégias de combate de um incêndio. Muitas das mortes ocorridas em incêndios de grandes proporções foram causadas por se negligenciar essas variáveis. O quadro abaixo demonstra o comparativo entre os ensaios realizados ao logo dessa pesquisa.

Quadro 8 - Quadro Comparativo dos Ensaios.

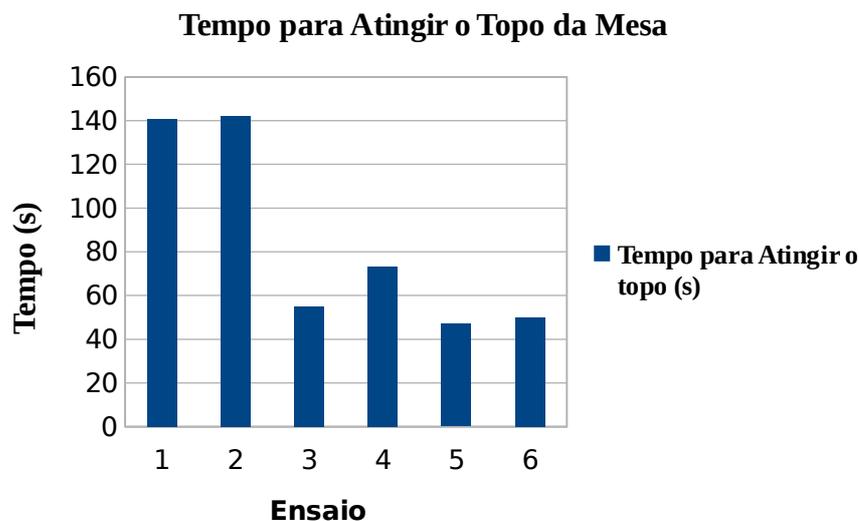
Ensaio	1	2	3	4	5	6
Inclinação Vale (°)	0°	0°	15°	15°	30°	30°
Hora (h/m)	10:51:00	12:27:00	15:27:00	15:52:00	14:12:00	14:50:00
Temperatura Ambiente	22,5°C	22,5°C	21,3°C	21,1°C	21,5°C	21,8°C
Umidade (%)	70,00%	66,00%	69,00%	71,00%	66,00%	66,00%
Temperatura Max Atingida (°C)	> 650°C	>650°C	>650°C	>650°C	>650°C	>650°C
Tempo de Queima Total (s)	231	207	123	145	79	83
Tempo para Atingir o topo (s)	141	142	55	73	47	50
Velocidade de Propagação Topo (m/s)	0,021	0,021	0,055	0,041	0,064	0,060
Comprimento das Chamas (m)	1,25	1,30	2,05	1,90	2,80	2,75
Intensidade do Fogo(kcal.m-1.s-1)	102,3245	111,4146	299,3581	253,8519	588,8681	566,2876

Fonte: Do Autor (2019)

Como dito anteriormente, é muito perceptível que a inclinação lateral do terreno influencia de forma significativa no comportamento do fogo em vales. Dentre as variáveis propostas a serem analisadas nos objetivos, intensidade do incêndio e velocidade de propagação, vê-se que há uma alteração clara a medida em que se mudava as angulações.

O gráfico abaixo demonstra a evolução da velocidade da propagação do fogo a medida em que se alterava as inclinações.

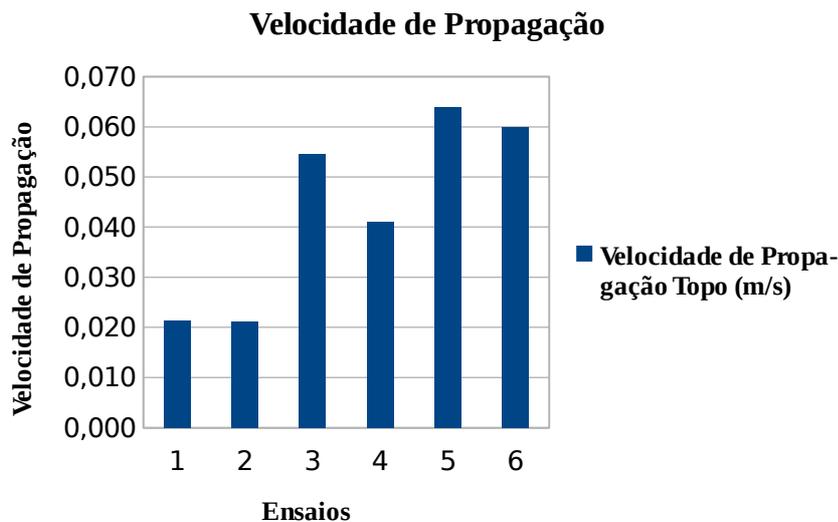
Gráfico 1 - Tempo para Atingir o Topo da Mesa.



Fonte: Do Autor (2019)

A partir do terceiro ensaio, onde se adicionou a inclinação lateral, percebe-se a diminuição do tempo para o fogo atingir o topo da mesa. No primeiro e segundo ensaio o tempo foi de aproximadamente 140 segundos. Já no quinto e sexto ensaio, quando a inclinação lateral era de 30° o tempo baixou para cerca de 50 segundos.

Gráfico 2 - Velocidade de Propagação.



Fonte: Do Autor (2019)

O gráfico acima demonstra a variação da velocidade. Há uma grande variação na velocidade quando adicionada a inclinação ao terreno. No segundo ensaio, onde obteve-se a menor velocidade o fogo atingiu 0,021 metro por segundo. Adicionada a inclinação ao terreno, no quinto ensaio a velocidade foi quase três vezes maior, atingindo 0,064 metro por segundo. O aumento de velocidade foi de 204%, demonstrando que quanto maior a inclinação lateral, maior será a velocidade de propagação. Apesar da velocidade dos ensaios três, quatro, cinco e seis não serem classificadas como altas, esse autor acredita que isso se dá pela limitação do tamanho da mesa. Analisando os ensaios, viu-se que no momento em que o fogo ganhava velocidade acabava os combustíveis devido ao tamanho da mesa. Considerando isso, pode-se dizer que a velocidade de propagação do fogo foi alta dada as proporções discutidas anteriormente.

Gráfico 3 - Intensidade do Incêndio.

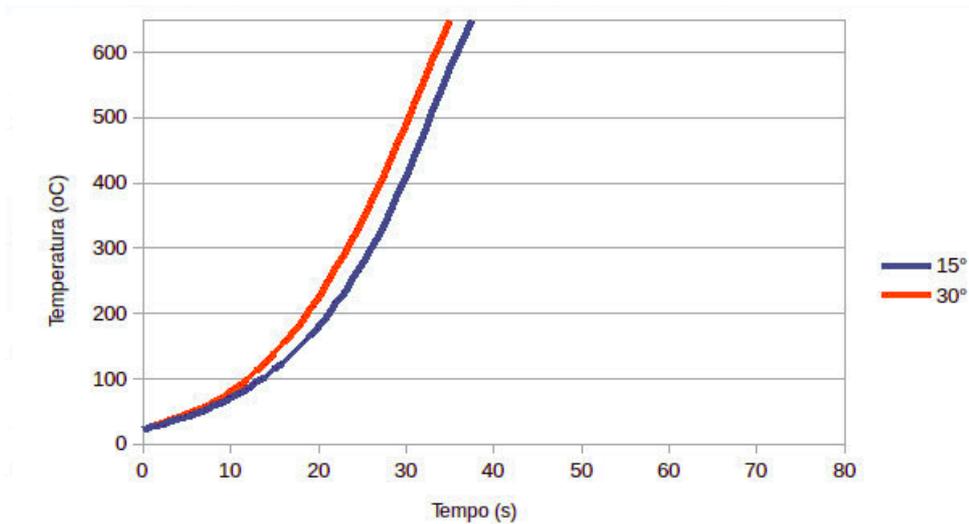


Fonte: Do Autor (2019)

A intensidade do incêndio foi visivelmente maior nos ensaios cinco e seis, respectivamente 588 kcal.m-1.s-1 e 566 kcal.m-1.s-1. Neles o comprimento das chamas chegaram a cerca de 2,80 metros, configurando um incêndio de grandes proporções, possivelmente atingindo a copa das árvores em seu caminho. Esse tipo de incêndio é muito difícil de ser combatido e muito perigoso para os que atuam tentando combatê-lo. Pode-se perceber, também, que a inclinação lateral, características dos vales, determinam a intensidade do incêndio. Como visto na literatura, quanto mais afunilado o vale, mais intenso será o incêndio. Por essas razões, os ensaios anteriores apresentaram uma menor intensidade do fogo.

Outra grandeza importante de ser analisada nesse tipo de incêndio é a temperatura relacionada com o tempo. Nesses casos, há um aumento súbito na velocidade e intensidade, o que aumenta consideravelmente a temperatura de forma muito rápida. Através do gráfico abaixo se pode analisar como isso ocorreu nos ensaios três, quatro, cinco e seis:

Gráfico 4 - Relação entre a Temperatura e o Tempo.



Fonte: Do Autor (2019)

Através do gráfico é possível notar que em um curto espaço de tempo a temperatura do incêndio cresce de forma muito rápida. Isso é característico de incêndios em vales, onde as correntes convectivas induzem um aumento de velocidade e, conseqüentemente, um aumento repentino de temperatura. Diversos autores relacionam a isso o motivo dos óbitos em grande parte dos incêndios florestais.

Por fim, a partir dos dados obtidos no quadro 7, pode-se afirmar que há uma grande relação entre a velocidade e a intensidade de um incêndio florestal com a inclinação de um vale. É possível notar que quanto mais afunilado o vale, maior são essas variáveis e mais perigoso é o incêndio. Por isso é essencial que se tenha conhecimento sobre o assunto, pois só assim é possível tomar melhores decisões e evitar que grandes acidentes ocorram.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo será abordado as considerações finais do trabalho, bem como as limitações da pesquisa e sugestões para possíveis estudos.

### 5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Essa pesquisa teve como intuito analisar o comportamento do fogo através da identificação de algumas variáveis propostas nos objetivos. Não se buscou no trabalho provar cientificamente a ocorrência do fenômeno em estudo por limitações de tempo e condições laboratoriais. O Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais do 14º Batalhão de Bombeiro Militar é uma grande inovação para a Corporação. É possível realizar diversos estudos naquele local. Entretanto, ele ainda carece de alguns equipamentos e estruturas para que se tenha maior fidedignidade nos resultados. Ainda não é possível controlar algumas variáveis como umidade do material combustível, umidade relativa do ar entre outros fatores que tornam a pesquisa apenas uma demonstração do fato. Além disso, o dia em que se realizou o estudo estava chuvoso e com umidade relativa do ar muito alta, o que pode ter contribuído de alguma forma para os resultados. Destaca-se também a dificuldade de se fazer a medição do comprimento de chama. Essa medida é muito difícil de se obter em campo. Apesar da dificuldade, a medição foi realizada nos moldes propostos por diversos autores, o que pode concretizar de forma aceitável os resultados obtidos no trabalho. Por fim, o autor acredita que o trabalho pôde demonstrar de forma muito satisfatória seu propósito. Apesar das dificuldades, foi nítida a ocorrência dos fenômenos relacionados ao comportamento do fogo em vales.

### 5.2 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS ESTUDOS

A primeira parte do trabalho teve como objetivo situar o leitor acerca dos conceitos relacionados a incêndios florestais e o comportamento do fogo. Inicialmente, abordou-se os aspectos gerais do fogo e os conceitos relacionados ao tetraedro do fogo, fases de combustão e formas de propagação do calor.

No capítulo seguinte foram vistos os assuntos pertinentes ao tema de incêndios florestais. Foi determinado o conceito de incêndio florestal, bem como os tipos de incêndios

florestais e suas partes. Além disso, foi visto as principais causas de incêndios em vegetação e formas de prevenção.

Em seguida, o assunto abordado trazia os fatores que influenciavam o comportamento do fogo em incêndios florestais. Foram tratados três principais fatores: A meteorologia, os combustíveis e a topografia.

A meteorologia afeta o comportamento do fogo pois altera as condições ambientais as quais o fogo está exposto. Pode-se citar como exemplo o vento, a umidade relativa do ar, a temperatura, as precipitações entre outros fatores.

Já os combustíveis são os materiais consumidos pelo fogo, e portanto grande influenciador em seu comportamento. Eles afetam esse comportamento através da sua localização, grau de umidade, tipo de combustível, tamanho, continuidade, compactação e outros fatores abordados na pesquisa.

A topografia foi o fator utilizado para analisar o comportamento do fogo nesse trabalho. Viu-se que a forma do terreno, a inclinação, a altitude e a exposição são peças que alteram o comportamento do fogo, fazendo com que ele mude sua velocidade e intensidade.

Após conceituar os termos relacionados a incêndios florestais e comportamento do fogo, definiu-se o comportamento do fogo em vales. Os vales são formas de relevo que atuam diretamente no comportamento do fogo. Neles acontece um fenômeno denominado por alguns autores como efeito eruptivo do fogo. Esse efeito é um súbito aumento de velocidade e intensidade de um incêndio florestal, causado pelas correntes convectivas de ar fortíssimas induzidas pelo próprio incêndio.

Na segunda parte do trabalho, através de simulações no LEIF, localizado na cidade de Xanxerê, buscou-se identificar a velocidade de propagação do fogo em vales, além da intensidade do fogo, também, nos vales.

Nos ensaios foram alteradas as configurações da rampa automatizada de teste de queima para que ela simulasse um vale. Inicialmente, nos dois primeiros ensaios, a mesa foi mantida apenas sob uma inclinação de 30° e sem inclinação lateral. Os resultados obtidos nessas duas primeiras queimas indicaram uma velocidade de 0,021 m.s<sup>-1</sup> em ambas. A intensidade obtida foi de 102,32 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> no primeiro ensaio e 111,41 kcal.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> no segundo.

No terceiro e quarto ensaio adicionou-se uma inclinação lateral de 15°. O aumento de velocidade e intensidade foi nítido. A velocidade no terceiro ensaio foi de 0,055 m.s<sup>-1</sup> e no

quarto de  $0,041 \text{ m.s}^{-1}$ . Comparando com os dois primeiros testes, a velocidade praticamente dobrou. A intensidade do fogo também foi maior. No terceiro teste foi de  $299,35 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  e no quarto  $253,85 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

Nos dois últimos ensaios, a mesa foi alterada para uma inclinação lateral de  $30^\circ$ . Visivelmente, a medida em que se afunilava a mesa, a velocidade de propagação do fogo e sua intensidade aumentavam. No quinto ensaio a velocidade de propagação chegou a  $0,064 \text{ m.s}^{-1}$  e a sua intensidade a  $588,86 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . No sexto a velocidade atingiu  $0,060 \text{ m.s}^{-1}$  e uma intensidade de  $566,28 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ .

Comparando os valores, percebe-se que quanto maior a inclinação lateral do terreno, maiores são os valores de velocidade e intensidade do incêndio. A velocidade de propagação cresceu cerca de 204% dos primeiros ensaios para os últimos, quando a inclinação lateral era de  $30^\circ$ . Esse aumento de velocidade é um dos grandes responsáveis pela vitimização de Bombeiros e civis. O súbito acréscimo desse fator surpreende os que estão envolvidos pelo incêndio, causando danos irreparáveis. Dessa forma, é mister o conhecimento do fenômeno, pois assim se pode planejar o combate e evitar tais acontecimentos.

Já a intensidade cresceu cerca 476%, passando  $102,32 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  no primeiro ensaio para  $588,86 \text{ Kcal}^{-1}.\text{s}^{-1}$  no quinto.

Portanto, conclui-se através dos experimentos realizados, que os vales afetam de fato o comportamento do fogo em incêndios florestais, alterando sua velocidade de propagação e intensidade. Isso ocorre através da convecção dos gases. Os gases aquecidos pelo incêndio se tornam menos densos que o ar atmosférico e tendem a ascender, atingindo o topo do vale. O movimento dos gases quentes dá espaço para que o ar atmosférico, mais frio e denso, tome seu lugar (na base do vale). Essa movimentação de massas de ar geram correntes convectivas de ar fortíssimas, que aumentam a velocidade de propagação do incêndio florestal inesperadamente.

Do exposto, entende-se que esse conhecimento é essencial para atuação do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, visto que os vales podem alterar significativamente a velocidade de propagação de um incêndio, tornando-os muito mais intensos. Como visto, esse fenômeno já vitimou muitos combatentes e civis ao longo do tempo, e só através do conhecimento é possível tomar medidas para que isso não aconteça sob nossa vigilância.

Este trabalho é apenas uma amostra do vasto campo de pesquisa referente aos estudos de formas de melhor combater os incêndios florestais.

Ademais, sugere-se como propostas de novos estudos, a utilização do Laboratório de Estudos de Incêndios Florestais. Através do laboratório é possível realizar-se diversos avanços na área. A rampa automatizada de queima possibilita uma série de estudos, com diferentes topografias, fatores climáticos e combustíveis.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, Talita Alves dos. **Temperatura E Calor**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/temperatura-calor.htm>>. Acesso em: 17 set. 2019.
- BEUTLING, Alexandre. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 121 f. 2009. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.
- CABRAL JÚNIOR, Heliezer Soares. O que é uma reação em cadeia? 2001. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/ciencia/o-que-e-uma-reacao-em-cadeia/>>. Acesso em: 07 ago. 2019.
- CASTRO, Carlos Ferreira de et al. **Combate a Incêndios Florestais**. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2003.
- CIPRIANO JÚNIOR, Zevir Anibal. **A gestão das ocorrências de incêndios florestais com interface urbana para o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. 2016. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração de Segurança Pública, UDESC, Florianópolis, 2016.
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Combate a Incêndios Florestais**. São Paulo: 2006.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Curso de Formação de Combatente em Incêndio Florestal**. Florianópolis: CBMSC, 2016.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Sistema e-193**. Florianópolis: CBMSC, 2019.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. Tópicos Introdutórios: Ciência do Fogo. Florianópolis: CBMSC, 2018.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. **Manual Operacional de Bombeiros: Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. Goiania: 2017.
- FERRER, E, P. **Contribució A L'estudi Dels Efectes Dels Retardants En L'extinció D'incêndis Forestals**. Memoria de Tesi Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2004. 304p.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GERHRDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HELERBROCK, Rafael. **“O que é convecção?”**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-conveccao.htm>. Acesso em 03 de outubro de 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília: ICMBio, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, **Programa Queimadas**. Disponível em: < <http://www.inpe.br/queimadas/>>. Acesso em: 5 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados Estatísticos**. <http://www.ibge.gov.br> Disponível em. Acesso em 30 de outubro de 2019.

LOURENÇO, Luciano et al (Org.). **Manual de Combate a incêndios florestais para equipas de primeira intervenção**. 3. ed. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2006.

LUIZ, Edna Lindaura. Geomorfologia. In: ROCHA, Isa de Oliveira (Org.). **Atlas Geográfico de Santa Catarina: Diversidade da natureza**. Florianópolis: Udesc, 2016. p. 91-108.

MARTINS, Samuel David Rodrigues. **Incêndios Florestais: Comportamento, Segurança e Extinção**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdades de Letras, Ciências e Tecnologia e de Economia na Universidade de Coimbra, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010.

MARTINS, Samuel. **Segurança e Eficiência no Combate aos Incêndios Florestais**. Coimbra: 2013.

MOTTA, Daniel Souza. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais**. 2008. 32 f.. Trabalho de Conclusão de Curso (Superior em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008. Disponível em: <[http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Daniel\\_Souza\\_Motta.pdf](http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Daniel_Souza_Motta.pdf)>. Acesso em: 07 de agosto. 2019.

National Wildfire Coordinating Group. **S-190, Introduction to Wildland Fire Behavior**. Idaho: National Wildfire Coordinating Group, 2008.

OLIVEIRA, Mariana; CARVALHO, Patrícia. **Bombeira morre no combate às chamas no Caramulo**. 2013. Disponível em: <<https://www.publico.pt/2013/08/29/sociedade/noticia/uma-bombeira-morta-no-caramulo-1604299>>. Acesso em: 03 out. 2019.

PARIZOTTO, Walter. **O controle dos Incêndios Florestais pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina: Diagnóstico e Sugestões para o seu Aprimoramento**. 2006.

120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PARIZOTTO, Walter. **Padronização de procedimentos em operações de controle de incêndios florestais no Estado de Santa Catarina**. 62 f., 2006. Monografia (Especialização de Bombeiros para Oficiais) – Centro de Ensino Bombeiro Militar. Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PINAR, Alcolea del. **11 muertos en un incendio forestal que arrasa miles de hectáreas en Guadalajara**. 2005. Disponível em:  
<[https://elpais.com/diario/2005/07/18/espana/1121637601\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2005/07/18/espana/1121637601_850215.html)>. Acesso em: 06 out. 2019.

ROGULJ, Daniela. **Remembering Kornati Tragedy 12 Years On**. 2019. Disponível em:  
<<https://www.total-croatia-news.com/news/38141-kornati-tragedy>>. Acesso em: 06 out. 2019.

SANTIAGO; CINTRA. **O que é topografia?** 2017. Disponível em:  
<<https://www.santiagoecintra.com.br/blog/geo-tecnologias/o-que-e-topografiay>>. Acesso em: 23 de setembro. 2019

SANTOS, Bruno Filipe Bernardo dos. **Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de apoio ao combate a Incêndios Florestais no Concelho da Guarda**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Informação Geográfica, Universidade da Beira Interior, Covilhão, 2010.

SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antônio Carlos; NUNES, José Renato Soares. Manual de Prevenção e Combate a incêndios Florestais. 2. ed. Curitiba, 2008.

STRUMINSKI, Edson. **Manual para curso de combate a incêndios florestais em montanha**. Federação Paranaense de Montanhismo - Quatro Barras - Pr. Disponível em:  
<[http://www.fepam.org/arquivos/curso\\_combate\\_incendios2.doc](http://www.fepam.org/arquivos/curso_combate_incendios2.doc)>. Acesso em: 25 setembro 2019.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira et al. **Mapeamento do Risco de Incêndios Florestais Utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. *Floresta e Ambiente*, [s.l.], v. 24, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025615>.

VÉLEZ, R. **La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias**. Editado por A. García. Madrid, España. Mc. Graw Hill. 2000.

VIEGAS, D. X. **Comportamento do Fogo e Segurança Pessoal**. Sevilha: 2006.

VIEGAS, D. X.; SIMEONI, A.. **Eruptive Behaviour of Forest Fires**. *Fire Technology*, [s.l.], v. 47, n. 2, p.303-320, 22 out. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-010-0193-6>.