

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**INCÊNDIOS FLORESTAIS  
3º edição - revisada**

**Mauro Valdir Schumacher  
Grasiele Dick**

**SANTA MARIA, RS, BRASIL  
JULHO – 2018**

S392i Schumacher, Mauro Valdir

Incêndios florestais / Mauro Valdir

Schumacher, Grasielle Dick. – 3. ed. rev. – Santa Maria : UFSM, CCR, Departamento de Ciências Florestais, 2018.

153 p. : il. ; 30 cm. – (Coleção Ciências rurais, ISSN 1984-6118 ; n. 13)

1. Silvicultura – incêndios 2. Incêndios florestais  
3. Incêndios florestais – Prevenção e controle I.  
Dick, Grasielle II. Título III. Série

CDU 630\*43  
630\*432

Ficha catalográfica elaborada por Maria Helena de Gouveia - CRB-10/2266  
Biblioteca Central - UFSM

**Conteúdo aprovado em reunião do Colegiado do Departamento**

Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário - Centro de Ciências Rurais  
Santa Maria, RS, prédio 44 - Sala 5243

**Consultoria pedagógica**

Venice Teresinha Grings

Unidade de Apoio Pedagógico/CCR; Fone: 3220 8403 – e-mail: uapccr@gmail.com

**Revisão linguística**

Janer Cristina Machado

**Adequação às normas técnicas**

Claudia Angelita Antunes Silveira

**Capa**

Núcleo de Divulgação Institucional do CCR

**Produção gráfica**

Imprensa Universitária UFSM

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**

**Prof. Paulo Afonso Burmann  
Reitor da UFSM**

**Luciano Schuch  
Vice-Reitor da UFSM**

**Prof. Irineo Zanella  
Diretor do CCR/UFSM**

**Prof. Sandro Luis Petter Medeiros  
Vice-Diretor do CCR/UFSM**

# **INCÊNDIOS FLORESTAIS**

**3º edição - revisada**

## **Autores:**

Mauro Valdir Schumacher<sup>1</sup>

Grasiele Dick<sup>2</sup>

**Coleção Ciências Rurais N. 13**

**ISSN 1984 – 6118**

**BRASIL – RS – UFSM**

---

<sup>1</sup> Engenheiro Florestal, Dr. nat. techn. Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, [mauro.schumacher@ufsm.br](mailto:mauro.schumacher@ufsm.br)

<sup>2</sup> Engenheira Florestal, Dra. Professora substituta do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, [grasidick@hotmail.com.br](mailto:grasidick@hotmail.com.br)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático de um incêndio subterrâneo .....	13
Figura 2 - Desenho esquemático de um incêndio de superfície .....	14
Figura 3 - Desenho esquemático de um incêndio de copa .....	16
Figura 4 - Triângulo do fogo .....	19
Figura 5 - Quebra do triângulo do fogo .....	20
Figura 6 - Fases da combustão .....	22
Figura 7 - Três fases da combustão ocorrendo simultaneamente em um incêndio florestal .....	24
Figura 8 - Diferentes formas de transferência de calor em incêndios florestais .....	28
Figura 9 - Formas que podem assumir os incêndios florestais .....	29
Figura 10 - Formas em que se desenvolve um incêndio florestal .....	30
Figura 11 - Variação da propagação de incêndios florestais durante o dia .....	31
Figura 12 - Alternância das brisas de encosta e do vale durante um dia de verão ...	32
Figura 13 - Diagrama esquemático, ilustrando as interações entre as características do fogo, da vegetação e condições físicas .....	33
Figura 14 - Localização e caracterização dos tipos de combustíveis florestais .....	34
Figura 15 - Materiais combustíveis perigosos .....	35
Figura 16 - Materiais combustíveis semiperigosos ou de combustão lenta .....	36
Figura 17 - Distribuição vertical do material combustível .....	37
Figura 18 - Barreiras naturais e arranjo espacial dos materiais combustíveis .....	38
Figura 19 - Precipitação média anual para o estado do Rio Grande do Sul .....	42
Figura 20 - Variação da umidade relativa do ar e a propagação do fogo .....	44
Figura 21 - Estação Meteorológica Digital Portátil "SpeedTech - Mod. SM-28" .....	46
Figura 22 - Influência da inclinação e exposição do terreno na propagação dos incêndios florestais .....	48
Figura 23 - Efeito da exposição na temperatura da superfície do solo em um aclave de 45° de latitude sul .....	48
Figura 24 - Dimensões da chama em um incêndio .....	54
Figura 25 - Dispersão da temperatura em um incêndio florestal, de acordo com a fase de combustão .....	56
Figura 26 - Efeitos diretos ou indiretos do fogo nas propriedades do solo, hidrologia e geomorfologia .....	59
Figura 27 - Redução da fertilidade natural após sucessivos ciclos de queima utilizados na agricultura .....	62
Figura 28 - Exemplo de múltiplas cicatrizes provocadas por incêndios florestais no tronco de uma árvore .....	69
Figura 29 - Utilização da queima contra o vento (sem aceiros internos) .....	77
Figura 30 - Comportamento do fogo contra o vento .....	77
Figura 31 - Método de queima em faixas a favor do vento .....	78
Figura 32 - Método de queima de flancos .....	79
Figura 33 - Método de queima em manchas ou pontos .....	80
Figura 34 - Método de queima em forma de anel .....	81
Figura 35 - Método de queima em forma de estrela ou queima em "V" .....	82
Figura 36 - Porcentagem de incêndios com causas conhecidas, em unidades de conservação federais, no período entre 2005 e 2008 .....	87
Figura 37 - Ação de um raio como agente causador de incêndios florestais .....	88
Figura 38 - Ação de incendiários .....	89

Figura 39 - Ciclo vicioso entre sistemas de produção extensivos, fogo acidental e perdas em sistemas intensivos .....	91
Figura 40 - Fumantes causando incêndios em beiras de estradas.....	92
Figura 41 - Fogueira em acampamento, como possível causa de incêndios .....	93
Figura 42 - Máquinas utilizadas em operações florestais, como agentes causadores de incêndios .....	94
Figura 43 - Fagulhas oriundas de locomotivas, como agente causador de incêndios florestais.....	95
Figura 44 - Fluxograma de entradas (informações básicas) e saídas (medidas e ações) de um plano de proteção contra incêndios florestais.....	98
Figura 45 - Diagrama da estrutura de perigo de incêndio.....	100
Figura 46 - Painel de indicação do grau de perigo, conforme dados obtidos pela fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA <sup>+</sup> ) .....	108
Figura 47 - Relação entre os sistemas de detecção, comunicação e mobilização orientados ao combate de incêndios.....	109
Figura 48 - Torre de observação .....	112
Figura 49 - Localização de incêndios pela triangulação, a partir de torres de observação.....	112
Figura 50 - Sistema de comunicação, onde são processadas as informações e acionadas as equipes de combate .....	114
Figura 51 - Organização hierárquica de uma brigada de incêndios.....	115
Figura 52 - Uso de trator de esteiras na abertura de aceiros.....	122
Figura 53 - Aplicação do método direto de combate a incêndios florestais .....	125
Figura 54 - Aplicação do método paralelo de combate a incêndios florestais .....	127
Figura 55 - Aplicação do método indireto de combate a incêndios florestais .....	128
Figura 56 - Exemplo de planejamento de combate a um incêndio florestal.....	130
Figura 57 - Sistema de organização para o combate de incêndios .....	132

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Condutividade térmica de diferentes materiais a 27 °C.....	27
Quadro 2 - Importância dos mecanismos de transferência de calor em diferentes componentes do ecossistema .....	28
Quadro 3 - Conteúdo de umidade do combustível, conforme o estágio de crescimento .....	40
Quadro 4 - A Escala Beaufort de Ventos .....	47
Quadro 5 - Alguns exemplos de modelos empíricos de estimativa da velocidade de propagação do fogo .....	51
Quadro 6 - Meios de disponibilização de nutrientes durante e após o fogo .....	66
Quadro 7 - Resumo das alterações em processos hidrológicos produzidos por incêndios.....	71
Quadro 8 - Principais características no perfil de incendiários rurais e urbanos. ....	89
Quadro 9 - Modificações no cálculo do Índice de Nesterov, no caso de ocorrência de chuvas. ....	102
Quadro 10 - Restrições à somatória da FMA, de acordo com a precipitação do dia .....	103
Quadro 11 - Medidas preventivas, comportamento do fogo e dificuldade de supressão, a partir do grau de perigo .....	105
Quadro 12 - Utilidades dos índices de Risco de incêndios .....	106
Quadro 13 - Vestimentas e equipamentos básicos para proteção individual .....	116
Quadro 14 - Identificação e descrição funcional das ferramentas e equipamentos básicos, usados no combate a incêndios florestais .....	119
Quadro 15 - Aspecto de alguns materiais e equipamentos auxiliares usados no combate ao fogo .....	120
Quadro 16 - Aeronaves e outros equipamentos utilizados no combate a incêndios florestais.....	123
Quadro 17 - Principais riscos, vantagens e desvantagens do método direto .....	126
Quadro 18 - Principais vantagens e desvantagens do método paralelo de combate a incêndios.....	127
Quadro 19 - Principais vantagens e desvantagens do método indireto de combate a incêndios.....	129
Quadro 20 - Relações entre o comprimento das chamas, intensidade e comportamento do fogo e indicações sobre os meios de combate. ...	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos incêndios florestais segundo a área queimada .....	17
Tabela 2 - Poder calorífico de algumas espécies arbóreas, com aproximadamente 12% de umidade .....	21
Tabela 3 - Biomassa dos diferentes componentes das árvores de <i>Eucalyptus saligna</i> em diferentes idades.....	39
Tabela 4 - Relação entre decréscimo da umidade relativa do ar e o aumento da velocidade de propagação do fogo .....	44
Tabela 5 - Classes de material combustível e respectivos tempos de resposta médios em relação à umidade de equilíbrio .....	45
Tabela 6 - Influência da velocidade do vento sobre a velocidade relativa de avanço do fogo .....	46
Tabela 7 - Propagação do fogo segundo o declive.....	49
Tabela 8 - Parâmetros do comportamento do fogo relacionados com os respectivos níveis de queima.....	50
Tabela 9 - Escala de classificação da velocidade de propagação do fogo .....	52
Tabela 10 - Quantidade de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na serapilheira, antes e após queimas controladas, em povoamentos de <i>Pinus caribaea</i> e <i>Pinus oocarpa</i> na região de Sacramento, MG .....	63
Tabela 11 - Influência do tipo e época de queima na velocidade de propagação, consumo de combustível e intensidade do fogo em povoamento de <i>Pinus taeda</i> nos E.U.A.....	83
Tabela 12 - Interpretação dos valores do índice de inflamabilidade. ....	102
Tabela 13 - Escala de perigo de incêndio para a Fórmula de Monte Alegre e para a Fórmula de Monte Alegre Alterada. ....	104



## SUMÁRIO

<b>1 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS</b>	<b>12</b>
1.1 INCÊNDIOS SUBTERRÂNEOS	12
1.2 INCÊNDIOS DE SUPERFÍCIE	14
1.3 INCÊNDIOS DE COPA	15
<b>2 PRINCÍPIOS DE COMBUSTÃO</b>	<b>17</b>
2.1 QUÍMICA DA COMBUSTÃO	18
2.2 TRIÂNGULO DO FOGO	18
2.3 FASES DA COMBUSTÃO	21
<b>3 PROPAGAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS</b>	<b>24</b>
3.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	24
3.2 FORMAS DE PROPAGAÇÃO	29
3.3 VARIAÇÃO DA PROPAGAÇÃO	31
3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PROPAGAÇÃO	33
3.4.1 Material combustível	34
3.4.1.1 Dimensões do combustível	35
3.4.1.2 Arranjo vertical do combustível	36
3.4.1.3. Arranjo horizontal do combustível	37
3.4.1.4 Volume de material combustível	38
3.4.1.5 Condições do material combustível	40
3.4.2 Condições climáticas	41
3.4.2.1 Precipitação	41
3.4.2.2 Temperatura do ar	42
3.4.2.3 Umidade relativa do ar	43
3.4.2.4 Vento	45
3.4.3 Topografia	47
<b>4 COMPORTAMENTO DO FOGO</b>	<b>49</b>
4.1 TAXA DE PROPAGAÇÃO OU VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO	50
4.2 INTENSIDADE DO FOGO	52
4.3 CALOR POR UNIDADE DE ÁREA	54
4.4 ALTURA DE CRESTAMENTO LETAL	55
4.5 TEMPERATURAS NA ZONA DE COMBUSTÃO	56
4.6 TEMPO DE RESIDÊNCIA	57
<b>5 EFEITO DOS INCÊNDIOS</b>	<b>58</b>
5.1 EFEITOS BENÉFICOS DOS INCÊNDIOS	60
5.1.1 Combate a incêndios	60
5.1.2 Controle de pragas e doenças	60
5.1.3 Regeneração de espécies florestais	61
5.1.4. Manejo de resíduos	61
5.1.5. Redução do material combustível	62
5.1.6. Melhora de atributos do solo	63
5.2 EFEITOS MALÉFICOS DOS INCÊNDIOS	64
5.2.1 Danos ao solo	64
5.2.2 Capacidade produtiva da floresta ou povoamento	66
5.2.3 Aspecto recreativo da floresta	67
5.2.4 Fauna silvestre	67
5.2.5 Vegetação	68
5.2.6 Caráter protetor da floresta	70

5.2.7 Ar atmosférico	71
5.2.8 Propriedades diversas	73
5.2.9 Vida humana	74
<b>6 QUEIMA CONTROLADA</b>	<b>74</b>
6.1 QUEIMADAS CONTROLADAS E SEUS USOS	75
6.2 TÉCNICAS DE QUEIMA	76
6.2.1 Queima contra o vento	76
6.2.2 Queima em faixas a favor do vento	78
6.2.3 Queima de flancos	79
6.2.4 Queima em manchas ou pontos	80
6.2.5 Queima em forma de anel	81
6.2.6 Queima em forma de estrela ou “V”	82
6.3 APLICAÇÃO DA QUEIMA CONTROLADA	82
<b>7 PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS</b>	<b>85</b>
7.1 PREVENÇÃO DAS FONTES DE FOGO	86
7.1.1 Raios	87
7.1.2 Incendiários	88
7.1.3 Queimas para limpeza	90
7.1.4 Fumantes	92
7.1.5 Fogos campestres	93
7.1.6 Operações florestais	94
7.1.7 Estradas de ferro	94
7.1.8 Diversos	95
7.2 PREVENÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO FOGO	96
7.3 PLANOS DE PREVENÇÃO	97
<b>8 ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIOS</b>	<b>99</b>
8.1 PRINCIPAIS ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO	99
8.1.1 Índice de Angström	100
8.1.3 Índice ou Fórmula de Monte Alegre	102
8.2 USO DOS ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO	106
<b>9 COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS</b>	<b>108</b>
9.1 DETECÇÃO DOS INCÊNDIOS	109
9.1.1 Torres de observação	110
9.1.2 Detecção por satélites	112
9.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	113
9.3 EQUIPES DE COMBATE	114
9.3.1 Equipamentos de proteção individual (EPI)	116
9.3.2 Primeiros socorros	117
9.3.3 Equipamentos básicos usados no combate	118
9.3.4 Material auxiliar usado no combate	120
9.3.5 Aeronaves e outros equipamentos	121
9.4 MOBILIZAÇÃO DO PESSOAL	123
9.5 TÉCNICAS DE COMBATE	124
9.5.1 Método direto de combate a incêndios florestais	125
9.5.2 Método paralelo de combate a incêndios florestais	126
9.5.3 Método indireto de combate a incêndios florestais	127
9.6 ESTRATÉGIAS USADAS NO COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS	129
9.7 ÁGUA E RETARDANTES QUÍMICOS NO COMBATE DE INCÊNDIOS	132

ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS	140
ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS	141
ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS	143
ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS.....	140
ANEXO B – VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE OUTRAS ESPÉCIES FLORESTAIS.....	132
ANEXO C - PRESSÃO MÁXIMA DE VAPOR D'ÁGUA EM MB .....	144
ANEXO D- PRESSÃO MÁXIMA DE VAPOR D'ÁGUA (E) EM mmHG .....	148
ANEXO E - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR (%) ATRAVÉS DAS TEMPERATURAS DO PSICRÔMETRO EM °C.....	149
ANEXO F - DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C) ATRAVÉS DA TEMPERATURA DO AR (T), EM °C E DA UMIDADE RELATIVA DO AR (U) EM %.....	150
	151

## 1 CLASSIFICAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

A preocupação com a proteção da natureza é evidenciada desde o período colonial, quando prevaleciam leis que estabeleciam severas penas contra os infratores que queimassem ou destruíssem as florestas. Com a criação do Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965) e pelo disposto no artigo 27, é proibido o uso do fogo nas florestas, exceto quando for utilizado para fins de queima controlada. Destaca-se ainda o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), criado pelo Decreto 97635/89, que atribuiu ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) a competência de coordenar as ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades de pesquisa, prevenção, controle e combate às queimadas e incêndios florestais no Brasil (SILVA, 1998).

Incêndio florestal é o termo utilizado para definir um fogo incontrolado que se propaga livremente e consome os diversos tipos de materiais combustíveis existentes em uma floresta. Apesar de não ser muito apropriado, o termo “incêndio florestal” é, muitas vezes, generalizado para definir incêndios em outros tipos de vegetação, tais como capoeiras, campos e pradarias (SOARES; BATISTA, 2007).

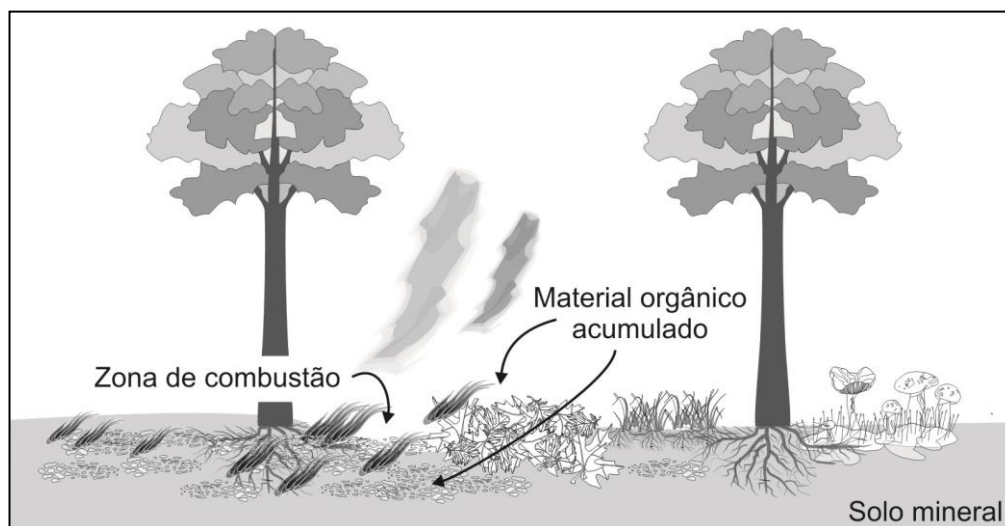
Os incêndios florestais são classificados conforme sua forma de aparecimento (GOLDAMMER, 1982). Segundo Ribeiro (2002), a classificação mais adequada para definir os tipos de incêndios se baseia no grau de envolvimento de cada estrato do combustível florestal, desde o solo mineral até o topo das árvores, no processo da combustão. Nesse caso, os incêndios são classificados em subterrâneos, superficiais e de copa.

### 1.1 INCÊNDIOS SUBTERRÂNEOS

São geralmente definidos pelo fogo que queima sob a superfície do solo, devido à grande acumulação de matéria orgânica, húmus ou turfa em determinados tipos de florestas, como, por exemplo, nas zonas boreais com predominância de florestas de coníferas (GOLDAMMER, 1982). Segundo Soares e Batista (2007), os locais típicos de acumulação de material orgânico ocorrem em florestas, normalmente em áreas alagadiças, comumente conhecidas como brejos ou pântanos. Nesses locais, após o lento acúmulo de material orgânico, formam-se

espessas camadas denominadas de turfa. Na ocorrência da drenagem desses locais, a turfa pode servir de material combustível altamente inflamável, alimentando o incêndio subterrâneo (Figura 1).

Figura 1 - Desenho esquemático de um incêndio subterrâneo



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Devido ao seu lento avanço, pouca fumaça e ausência de chamas, esse tipo de incêndio é difícil de ser detectado. Proporciona grandes danos às raízes e a fauna de solo, causando a morte dos mesmos e a consequente morte da árvore (SOARES; BATISTA, 2007). A fertilidade do solo fica parcialmente comprometida, assim como o solo, que fica sujeito a processos erosivos. Esses e outros efeitos do fogo sobre o ecossistema serão abordados com maior profundidade na sequência desta obra.

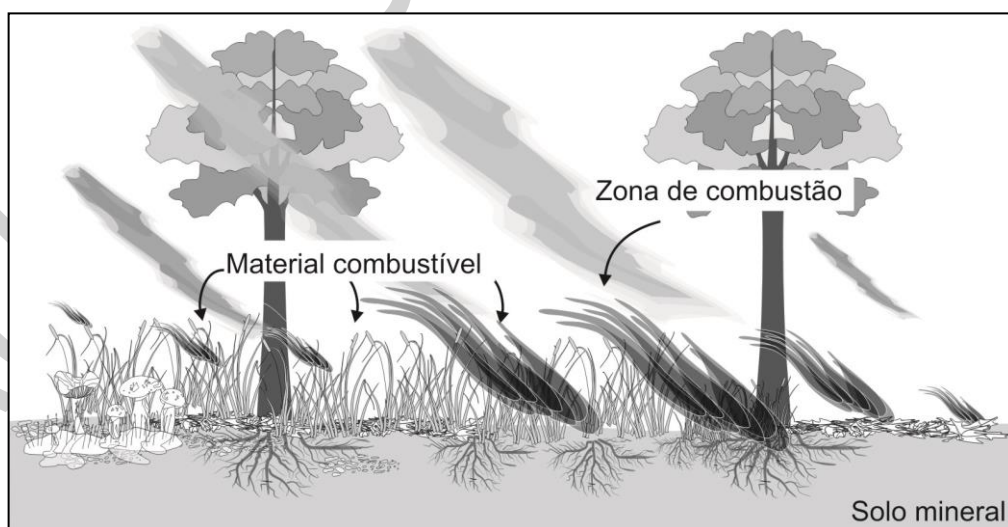
O fogo avança, nessas ocasiões, com elevada temperatura, tornando difícil o seu combate. A dificuldade de extinção determina que, muitas vezes, um incêndio dessa classe dure o suficiente para afetar uma área tão extensa como a abrangida por um incêndio superficial.

Algumas vezes, um incêndio subterrâneo se transforma em superficial; contudo, conforme Ribeiro (2002), o contrário pode ocorrer, ou seja, o incêndio subterrâneo pode ser precedido por um incêndio superficial, uma vez que a presença de oxigênio é reduzida na superfície do solo, dificultando a combustão do material.

## 1.2 INCÊNDIOS DE SUPERFÍCIE

Segundo Cianciulli (1981), Batista e Soares (1997) e Ribeiro (2002), os incêndios superficiais são os mais comuns, e todos os incêndios pertencem a essa classificação, evoluindo para outros tipos, conforme as circunstâncias que encontram em seu caminho (Figura 2). Soares e Batista (2007) denominam incêndios superficiais como os que ocorrem na superfície do piso florestal, consumindo as plantas e demais componentes da serapilheira em diferentes estágios de decomposição, tais como folhas, galhos, estruturas de reprodução, enfim, todo o material combustível até cerca de 1,80 m de altura. O material presente até a altura de 1,80 m normalmente é composto por material de pequena espessura, geralmente bastante inflamável (RIBEIRO, 2002). Essa característica do material combustível, aliada a outras características como, por exemplo, a direção e intensidade do vento, ou ainda o grau de inclinação do terreno, podem proporcionar incêndios florestais superficiais, caracterizados por uma propagação relativamente rápida, abundância de chamas e muito calor. Mesmo com essas características, esses tipos de incêndios, normalmente, apresentam a possibilidade de aplicação de técnicas de combate e extinção do fogo.

Figura 2 - Desenho esquemático de um incêndio de superfície



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Esses incêndios são os mais comuns de todos os tipos, podendo existir em todas as regiões onde ocorra vegetação; normalmente, podem ser vistos em beiras

de estradas e em campos. É também a forma pela qual começam quase todos os incêndios, isto é, praticamente todos iniciam como fogos superficiais.

Havendo situações favoráveis, tais como tipo de vegetação, material combustível, intensidade de fogo, condições atmosféricas, os incêndios superficiais podem dar origem tanto a incêndios de copa como subterrâneos, quer as condições favoreçam a um ou outro tipo.

Em condições normais, nas plantações de *Eucalyptus* sp., geralmente desenvolvem-se incêndios superficiais, devido às características do material combustível existente no sub-bosque e das próprias árvores, nas quais é difícil o fogo subir até as copas. Isso não significa que as copas não possam queimar, pois um fogo intenso poderá secá-las através do calor irradiado, e num segundo estágio destruí-las totalmente.

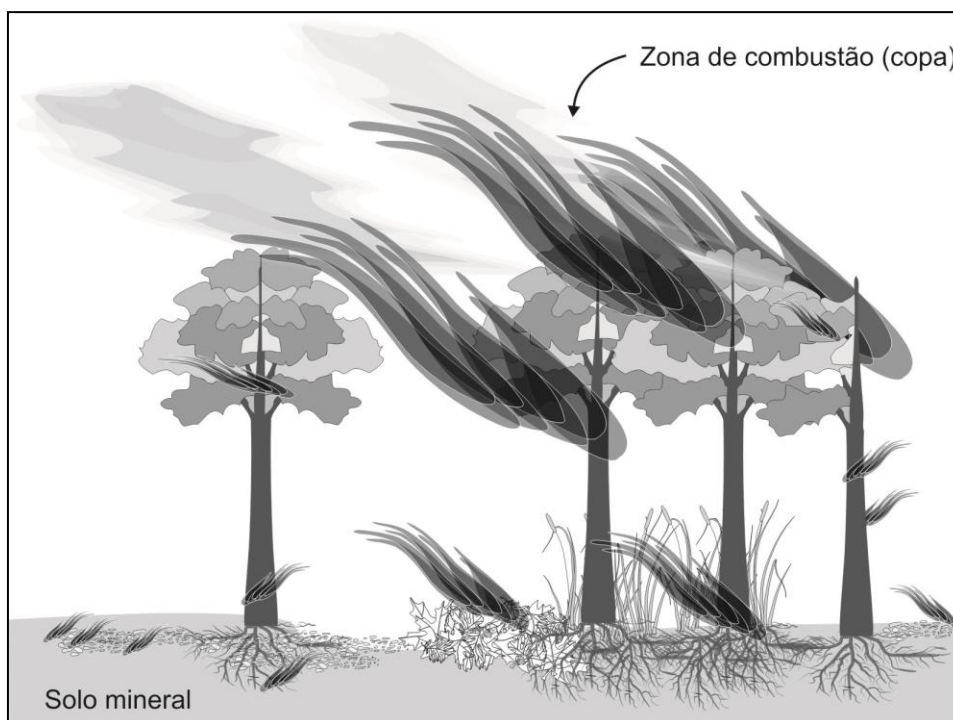
A maneira de queimar, a forma final da área incendiada, a rapidez de propagação e a intensidade do fogo dependem das características e quantidade de material inflamável, topografia e condições atmosféricas, que serão analisadas mais adiante.

### 1.3 INCÊNDIOS DE COPA

São considerados incêndios de copa os que queimam combustíveis acima de 1,80 m de altura. Com exceção de casos excepcionais, como raios, por exemplo, todos os incêndios de copa originam-se de incêndios superficiais; nesse tipo de incêndio, é característico o consumo pelas chamas de toda a folhagem, e geralmente a morte das árvores atingidas pelas chamas (SOARES; BATISTA, 2007).

As condições fundamentais para que haja ocorrência de incêndios de copa são folhagem combustível e presença de vento para transportar o calor de copa em copa. Esses incêndios propagam-se rapidamente, liberando grande quantidade de calor, e são sempre seguidos por um incêndio superficial. Isso porque os incêndios de copa espalham fagulhas em outros materiais, que acesos irão gradativamente queimando a vegetação rasteira e demais materiais combustíveis na superfície do solo (Figura 3).

Figura 3 - Desenho esquemático de um incêndio de copa



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Em todos os incêndios de copa, o fator que influi na sua propagação é o vento, de tal maneira que quando este inexistente, dificilmente o fogo atinge e se expande pela copa das árvores. Normalmente, o fogo avança a uma velocidade de 3 a 4 km h<sup>-1</sup>, dependendo das espécies que caracterizam o bosque incendiado. As coníferas e outras espécies resinosas queimam mais rapidamente do que as folhosas. Em condições favoráveis, a velocidade de avanço do fogo pode atingir até 15 km h<sup>-1</sup> (CIANCIULLI, 1981).

Esse tipo de incêndio desenvolve-se especialmente em povoamentos de coníferas, embora existam também algumas espécies de folhosas com folhagem inflamável, e por essa razão também sujeitas aos incêndios de copas. Além das diferentes características de inflamabilidade nas espécies florestais, a disposição dos estratos dentro da floresta pode ser um grande facilitador na transformação de incêndios superficiais em incêndios de copa, especialmente quando o arranjo desses estratos forma espécies de escadas, que conduzem as chamas da superfície do solo até as copas das árvores.

Em povoamentos de coníferas, em condições favoráveis, especialmente quanto à quantidade e arranjo do material combustível e condições atmosféricas,



geralmente ocorrem incêndios de copa. Nesse caso, o acesso das equipes de combate terrestre é muito difícil, tornando praticamente impossível o controle desse tipo de incêndio florestal, devido à grande liberação de calor e velocidade de avanço do fogo. Como medidas de combate, são adotadas estratégias como o combate aéreo, quando disponível.

Soares e Batista (2007) mencionam que os três tipos de incêndios descritos podem acontecer e acontecem, simultaneamente ou nas diversas combinações possíveis, dependendo das condições existentes.

Existe outro meio de se classificar os incêndios, tendo esses relação com a área queimada. O Serviço Florestal dos Estados Unidos da América adota uma classificação, porém, essa não se adapta muito bem às condições brasileiras, devido às diferentes características de vegetação, clima e principalmente de meios de proteção, ocasionando uma grande diferença de tamanho e outras particularidades entre os incêndios nos EUA e no Brasil. Soares (1985) sugere através da observação prática das características dos incêndios no Brasil, especialmente no Paraná, uma classificação um pouco diferente. Em 2007, Soares e Batista apontam a metodologia usada pelo Serviço Florestal do Canadá como adequada ao uso nas condições brasileiras (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos incêndios florestais segundo a área queimada

Classes	Área queimada (ha)
I	$\leq 0,9$
II	1,0 – 4,0
III	4,1 – 40,0
IV	40,1 – 200,0
V	$> 200$

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

## 2 PRINCÍPIOS DE COMBUSTÃO

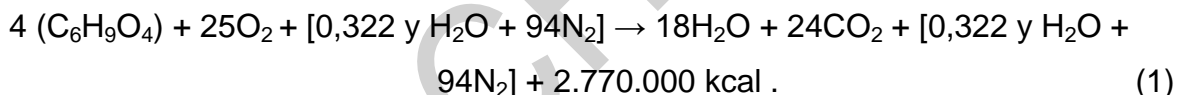
Para entender o comportamento do fogo, ou seja, como ocorre e os meios para manejá-lo eficazmente, é necessário primeiro entender o fenômeno do fogo. Nesse contexto, são importantes conceitos como: definição de o que é o fogo, como

ocorre o processo de queima e de onde provêm as chamas (SOARES, 1985). Segundo Whelan (1995), a base para o entendimento do fenômeno “fogo” está no entendimento dos processos físico-químicos relacionados à combustão.

## 2.1 QUÍMICA DA COMBUSTÃO

Fogo é o termo aplicado ao fenômeno físico resultante da combinação entre o oxigênio e uma substância combustível qualquer (resíduo florestal, como exemplo a serapilheira), com produção de calor, luz e normalmente chamas. Fogo ou processo de combustão é, portanto, uma reação de oxidação muito rápida, assemelhando-se à formação de ferrugem em um pedaço de ferro, ou à rápida decomposição de madeira. O fogo pode ser considerado um rápido agente de decomposição; isso pode ser evidenciado ao se comparar as equações generalizadas da fotossíntese e da combustão (SOARES; BATISTA, 2007).

Basicamente, a combustão de biomassa pode ser expressa pela equação que segue logo abaixo:



onde:

y = conteúdo (%) de água em relação ao seu peso seco.

## 2.2 TRIÂNGULO DO FOGO

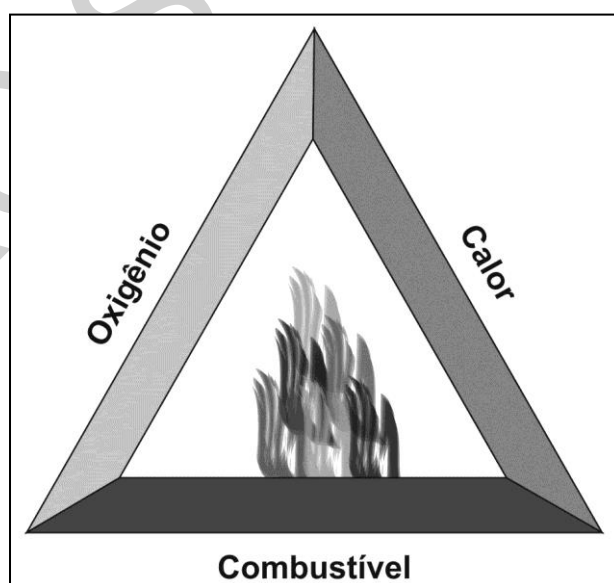
Analisando-se a reação de combustão, observa-se que ela envolve, de forma inter-relacionada, essencialmente três elementos que formam o chamado **triângulo do fogo** (HEIKKILÄ, GRÖNQVIST e JURVÉLIUS, 2007):

- a) Oxigênio - é um dos gases componentes do ar atmosférico, com aproximadamente 21%. Se promovermos a redução do oxigênio para um nível de 15%, não ocorrerá a combustão do material. Normalmente, o ato de “abafar” o fogo é realizado com abafadores ou com a utilização de terra. Nesse sentido, Soares e Batista (2007) destacam a importância do vento como aliado dos incêndios florestais, porque renova o ar próximo às chamas, alimentando o fogo com oxigênio;

- b) Combustível - é todo o material de origem orgânica, como a serapilheira, troncos, galhos, etc. presentes na floresta. Esse é o principal elemento do triângulo do fogo que podemos manipular para a prevenção e combate de incêndios. Normalmente, o manejo utilizado centraliza-se na redução ou total remoção do material orgânico presente na superfície do solo, por meio da construção de aceiros ou pela utilização de vegetação com diferentes potenciais de queima;
- c) Calor - além do combustível e do oxigênio, é necessária uma terceira condição para que a combustão possa ocorrer. Essa condição é a temperatura de ignição, que é a temperatura acima da qual um combustível pode queimar para iniciar e continuar o processo de combustão. Para Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), a temperatura de ignição varia entre 220 °C e 250 °C, dependendo das particularidades de cada combustível, ao passo que para Soares e Batista (2007), na maior parte dos combustíveis florestais, essa temperatura situa-se entre 260 °C e 400 °C.

Essa inter-relação entre os três elementos, necessária para a ocorrência de qualquer incêndio florestal, é denominada “triângulo do fogo” (Figura 4).

Figura 4 - Triângulo do fogo

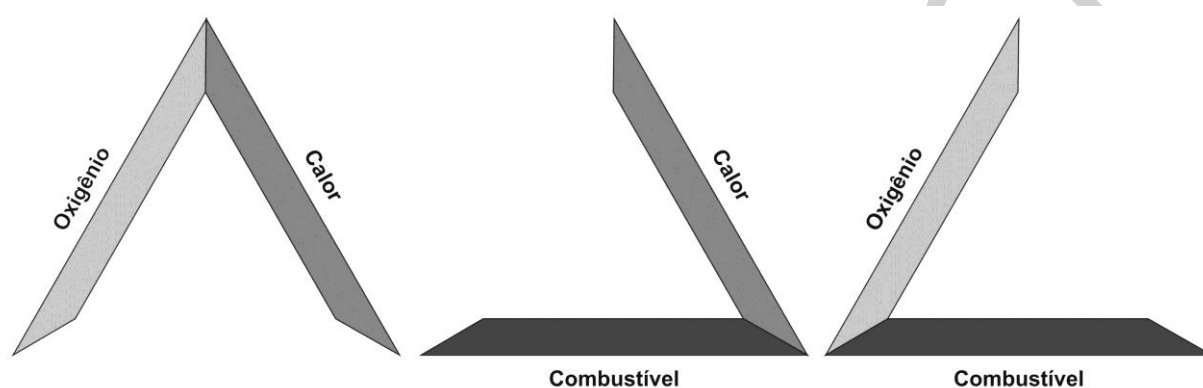


Fonte: Schumacher et al. (2013).

A ausência de qualquer um dos três componentes do triângulo do fogo torna impossível a combustão (Figura 5). No combate ou na prevenção a incêndios,

utilizam-se técnicas que visam eliminar um dos lados do triângulo, seja por resfriamento com água ou solo, por abafamento ou pelo manejo do material combustível (SOARES; BATISTA, 2007). Dessa forma, Cianciulli (1981) ratifica a importância de conhecermos as características dos componentes do triângulo do fogo na área de atuação do serviço de prevenção e combate, para que se possa prever a possibilidade e a intensidade de possíveis incêndios florestais.

Figura 5 - Quebra do triângulo do fogo



Fonte: Schumacher et al. (2013).

A energia que mantém a reação da combustão é o poder calorífico ou calor de combustão do material combustível. É definido como a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que, quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia contida. No Sistema Internacional, o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma (BRIANE; DOAT, 1985).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante, no qual a água formada durante a combustão é condensada, e o calor que deriva dessa condensação é recuperado (BRIANE; DOAT, 1985). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível, após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

Um combustível é constituído, sobretudo, de hidrogênio e carbono, tendo o hidrogênio o poder calorífico de  $28.700 \text{ kcal kg}^{-1}$ , enquanto que o do carbono é de  $8.140 \text{ kcal kg}^{-1}$ ; por isso, quanto mais rico em hidrogênio for o combustível, maior será o seu poder calorífico.

Na Tabela 2, pode ser verificado o poder calorífico de algumas espécies florestais; ainda nos Apêndices A e B, estão disponíveis duas listas com valores para diversas outras espécies arbóreas.

Tabela 2 - Poder calorífico de algumas espécies arbóreas, com aproximadamente 12% de umidade.

Espécie	Poder Calorífico (kcal kg <sup>-1</sup> )	
	Madeira	Casca
<i>Acacia decurrens</i>	4.550	4.568
<i>Mimosa scabrella</i>	4.589	4.862
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	4.667	4.267
<i>Eucalyptus viminalis</i>	4.691	3.495
<i>Pinus elliottii</i>	4.786	5.947
<i>Pinus taeda</i>	4.814	4.868

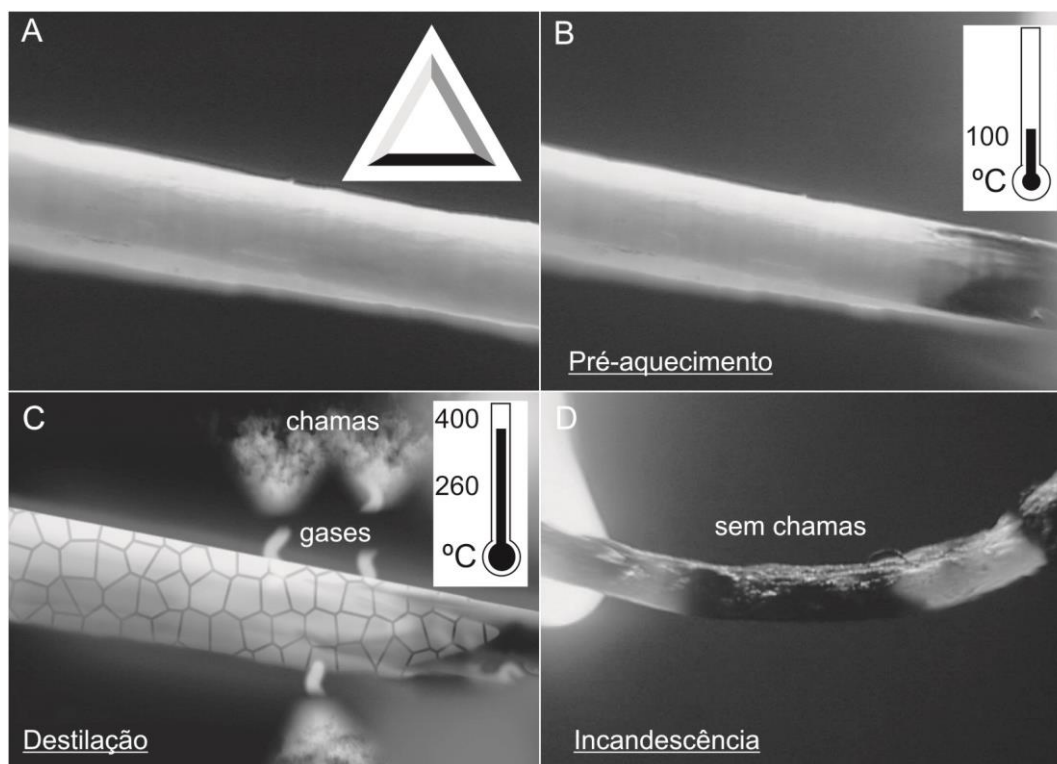
Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

### 2.3 FASES DA COMBUSTÃO

A evolução do fenômeno “fogo” passa por diversas fases. Inicialmente, quando o combustível florestal é submetido à ação do calor, sua estrutura molecular sofre alterações. À medida que o calor aumenta, verificamos o desprendimento de gases e vapor, e, assim, existindo calor suficiente, passam a ocorrer as chamas, iniciando o processo de combustão (SOARES; BATISTA, 2007).

Desde que o Triângulo do Fogo esteja completo, a combustão do material florestal compreende basicamente três fases (Figura 6):

Figura 6 - Fases da combustão



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2002).

Legenda: (A) Presença dos três elementos do “Triângulo do Fogo”; (B) Fase de pré-aquecimento; (C) Fase de destilação; (D) Fase de incandescência.

- a) Pré-aquecimento (Figura 6 B) - segundo Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), nessa fase, o combustível é seco, aquecido e parcialmente destilado, porém, ainda não existem chamas. É nessa fase que a temperatura do combustível é elevada até a temperatura de ignição; essa elevação, em média, ocorre a temperaturas que variam entre 100 °C e 200 °C. As características do material combustível (umidade, teores de lignina, celulose e extrativos) estão diretamente ligadas ao tempo necessário para alcançar a temperatura de ignição. O avanço do calor vai eliminando a umidade ao longo do combustível, e os componentes voláteis são transportados para a superfície do material, sendo expelidos em conjunto com grandes quantidades de vapor d’água. Destacam-se ainda características como o estado de fragmentação ou decomposição do material combustível, visto que, quanto maior é o estado de divisão de um combustível, maior é a sua superfície e maior é a sua capacidade de

arder; como exemplo, temos a serragem, que arde mais facilmente do que um pedaço de madeira que lhe deu origem. Segundo Soares e Batista (2007), inicialmente esses gases voláteis contêm grandes quantidades de vapor d'água, e alguns compostos orgânicos não combustíveis. Nos combustíveis florestais, quando a temperatura aumenta, a hemicelulose, seguida da celulose e da lignina, começam a se decompor e liberam um fluxo de produtos orgânicos combustíveis (pirolisados). Devido ao aquecimento desses gases, eles se elevam, misturando-se com o oxigênio do ar, e incendeiam-se produzindo a segunda fase da combustão;

- b) Destilação ou gasosa (Figura 6 C) - com o aquecimento do combustível, a uma temperatura de aproximadamente 200 °C, os componentes do material vegetal, como a celulose, começam a se desintegrar. Ocorre ainda o desprendimento de gases voláteis. Conforme Goldammer (1982), os gases destilados inflamam-se quando a temperatura atinge os 300 °C ou 400 °C. Essa temperatura continua subindo até alcançar valores que variam entre 600 °C e 1000 °C; as chamas continuam queimando sem receber calor externo e apresentando coloração azul; nesse momento, percebe-se a formação de fumaça, composta essencialmente por gases queimados, dióxido de carbono e vapor de água. Com a liberação dos gases e sua subsequente queima, verifica-se que as chamas não tocam diretamente o combustível, mas sim queimam a partir de sua superfície. Soares e Batista (2007) afirmam que isso ocorre porque combustíveis sólidos não queimam diretamente, necessitando primeiro serem decompostos ou pirolisados pela ação do calor em vários gases, uns inflamáveis e outros não, pela falta de oxigênio; os gases inflamáveis, quando liberados da madeira, precisam primeiro se misturar com o ar ao redor para entrarem em combustão. Os mesmos autores comentam que, quando a pirólise é lenta, pouco gás é destilado, e as chamas são curtas e intermitentes. Mas quando grandes quantidades de combustível estão queimando rapidamente, como em um incêndio florestal, o volume de gases é grande, e alguns deles necessitam se expandir, afastando-se a consideráveis distâncias do combustível, formando chamas longas;
- c) Incandescência (Figura 6 D) - o combustível é consumido, havendo formação de cinzas. O calor é intenso, porém, praticamente não existe

chama nem fumaça. Nessa fase, o combustível (carvão e celulose) é consumido, restando apenas cinzas (GOLDAMMER, 1982). O calor liberado nessa fase depende dos teores de carbono presentes no combustível. Esse teor de carbono no carvão residual, que é liberado após a fase de destilação, varia de acordo com a temperatura em que ocorreu a destilação dos hidrocarbonos. Para temperaturas entre 260 °C e 300 °C, o carvão retém uma considerável quantidade de alcatrão, e o conteúdo de carbono pode chegar a 60%. Mas, nas temperaturas normais de um incêndio florestal (800°C ou mais), a porcentagem de carbono chega a 96% (SOARES; BATISTA, 2007).

Cabe aqui salientar que as três fases da combustão apresentadas, apesar de certa superposição, ocorrem e podem facilmente ser observadas em um incêndio florestal (Figura 7).

Figura 7 - Três fases da combustão ocorrendo simultaneamente em um incêndio florestal



Fonte: Schumacher (2012).

### **3 PROPAGAÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

#### **3.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR**

Para que ocorra a combustão de maneira contínua, é necessária a presença dos três elementos constituintes do triângulo do fogo, ou seja, combustível, oxigênio



e calor. Uma fonte de calor, suficientemente forte, é determinante para que o fluxo de calor possa ocorrer entre os materiais combustíveis. Conforme Goldammer (1982), esse calor pode ser transmitido de três diferentes maneiras, ou seja, por: **convecção** (o ar aquecido é mais leve e sobe); **radiação** (o calor atravessa as moléculas do ar, sem movimentá-las); **condução** (o calor é conduzido por um corpo sólido).

A radiação é a transferência do calor através do espaço, em qualquer direção, à velocidade da luz. Segundo Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), a radiação é muito importante em todos os incêndios, pois é o principal método de transferência de calor em grandes incêndios florestais, atuando no pré-aquecimento e ignição dos combustíveis ao redor do foco principal das chamas.

Como exemplo, podemos citar uma pessoa sentada ao lado de uma fogueira: a sensação de aquecimento estará sendo fornecida pelo calor radiado da fonte, sob a forma de ondas. O aquecimento da terra durante o dia é consequência da radiação de calor pelo sol; isso ocorre porque a radiação é o único meio de transferência de calor que não requer um meio intermediário entre a fonte de calor e a substância receptora, podendo processar-se inclusive no vácuo, como mencionado anteriormente (SOARES; BATISTA, 2007).

A radiação de calor ocorre como uma lei natural muito importante em manejo de incêndios. A variação da intensidade de calor, que ocorre com a distância, obedece à Lei do Inverso do Quadrado.

A expressão do “inverso do quadrado” aplica-se a fluxos de energia em que a fonte pode ser considerada pontual. Se uma fonte de radiação puder ser considerada como pontual, a intensidade a uma distância X da fonte é inversamente proporcional a X<sup>2</sup>. Essa propriedade é uma consequência direta da lei de conservação da energia. Se a potência de emissão da fonte pontual é P, a intensidade média I<sub>1</sub> através de uma superfície esférica de raio r<sub>1</sub> é dada por:

$$I_1 = \frac{P}{4\pi \cdot r_1^2} \quad (2)$$

A intensidade I, a qualquer distância r da fonte pontual é, portanto, inversamente proporcional a r<sup>2</sup>. A intensidade média I<sup>2</sup> através de uma superfície esférica de diferente raio r<sup>2</sup> é dada por expressão idêntica. Se não há absorção de

energia na região entre as duas superfícies, a potência deve ser a mesma em ambas, e:

$$4\pi \cdot r_1^2 I_1 = 4\pi \cdot r_2^2 I_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (3)$$

Pode-se verificar esse fenômeno, quando observamos pessoas sentadas ao redor de uma fogueira, por exemplo. A mais próxima pode estar se sentindo confortável, a uma distância de 2 m do fogo; a segunda, estando a 4 m do fogo (o dobro de distância), somente receberá a mesma quantidade de calor se o fogo for 4 vezes mais quente (SOARES; BATISTA, 2007).

A convecção é a forma de transmissão do calor que ocorre principalmente nos fluidos (líquidos e gases). Diferentemente da condução, onde o calor é transmitido de átomo a átomo sucessivamente, na convecção, a propagação do calor se dá através do movimento do fluido (ar) envolvendo transporte de matéria. A explicação desse processo é simples: quando o ar é aquecido, suas moléculas passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se uma das outras, ocupando um maior volume e tornando-se menos densa. A tendência dessa massa menos densa no interior do ar, como um todo, é sofrer um movimento de ascensão, ocupando o lugar das massas de ar que estão a uma temperatura inferior. A parte do ar mais fria (mais densa) move-se para baixo, tomando o lugar que antes era ocupado pela parte do fluido anteriormente aquecido. Esse processo se repete inúmeras vezes enquanto o aquecimento é mantido, dando origem às chamadas correntes de convecção.

A velocidade com que ocorre a convecção do ar durante os incêndios florestais indica em que intensidade está ocorrendo o processo de combustão. Essa forma de transferência de calor atua de maneira importante no transporte das chamas de incêndios superficiais até as copas das árvores. O fenômeno da convecção atua de maneira mais intensa no comportamento do fogo, quando ocorre em regiões de topografia acidentada (HEIKKILÄ, GRÖNQVIST e JURVÉLIUS, 2007).

A condução é a transferência de calor por contato direto com a fonte de calor. Por ser a madeira um mal condutor de calor, a transferência por condução tem pouca importância em incêndios florestais. O aquecimento de massas de ar através

de condução é que apresenta um pouco mais de importância no controle de incêndios.

O mecanismo da condução de calor está associado à transferência de calor efetuada ao nível molecular, por transferência de energia sensível. As partículas mais energéticas (que se encontram em locais onde se regista uma maior temperatura) transferem parte da sua energia vibracional, rotacional e translacional por contato com outras partículas contíguas menos energéticas (que se encontram a uma menor temperatura), as quais recebem essa energia. Essa transferência é efetuada, portanto, no sentido das temperaturas menores, ou seja, no sentido do gradiente negativo. Ocorre em gases, líquidos ou sólidos. Nos fluidos (especialmente nos gases, onde existem menores forças de coesão), surgem ainda colisões entre as partículas. Nos sólidos metálicos, os elétrons livres favorecem esse processo (Quadro 1). A lei fundamental que descreve a condução térmica é a lei de Fourier.

Quadro 1 - Condutividade térmica de diferentes materiais a 27 °C

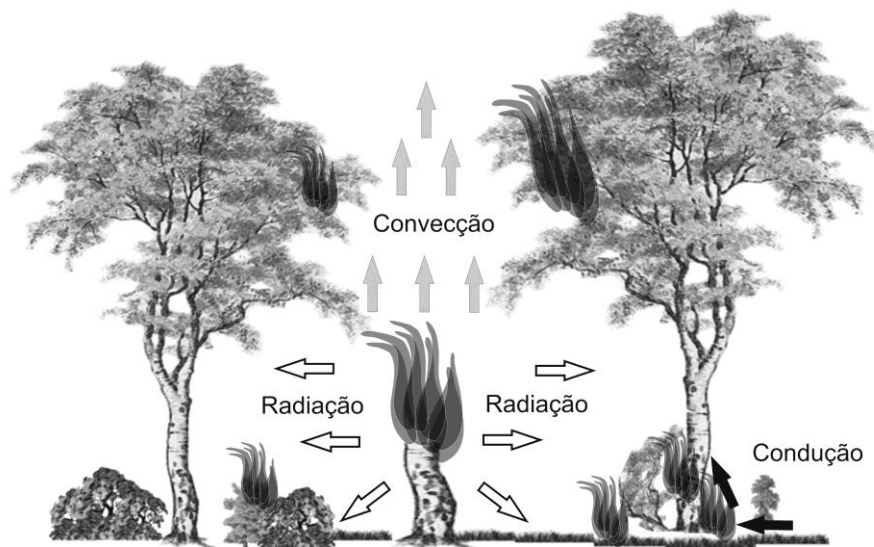
<b>Material</b>	<b>Condutividade</b>	<b>Material</b>	<b>Condutividade</b>
Prata	426	Tijolo	0,4 - 0,8
Cobre	398	Madeira (pinho)	0,11 - 0,14
Alumínio	237	Fibra de vidro	0,046
Tungstênio	178	Espuma de poliestireno	0,033
Ferro	80,3	Ar	0,026
Vidro	0,72 - 0,86	Espuma de poliuretano	0,020
Água	0,61	Unidade: watt por metro Kelvin = W/(m . K)	

Fonte: Adaptado de Young e Sears (1992).

Segundo Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), a transferência de calor por condução, ou seja, de um combustível a outro, é de grande importância em incêndios prediais, mantendo pouca relação com incêndios florestais.

As três formas de condução do calor, que condicionam e aceleram a propagação dos incêndios nos distintos estratos da floresta, são irradiadas nos mais variados sentidos e ocorrem simultaneamente (Figura 8).

Figura 8 - Diferentes formas de transferência de calor em incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Goldammer (1982).

Os mecanismos para a transferência de calor, através de diferentes componentes dos ecossistemas, variam bastante (Quadro 2).

Quadro 2 - Importância dos mecanismos de transferência de calor em diferentes componentes do ecossistema

Mecanismo de transferência de calor	Componente do Ecossistema	Importância na transferência de calor
Radiação	Ar	Médio
	Material combustível	Alto
	Solo	Baixo
Condução	Ar	Médio
	Material combustível	Baixo
	Solo	Baixo (seco), Alto (úmido)
Convecção	Ar	Alto
	Material combustível	Médio
	Solo	Baixo
Transferência de massa	Ar	Alto
	Material combustível	Baixo
	Solo	Baixo
Vaporização / condensação	Ar	Baixo
	Material combustível	Médio
	Solo	Alto

Fonte: Adaptado de Neary, Ffolliott e Landsberg (2005).

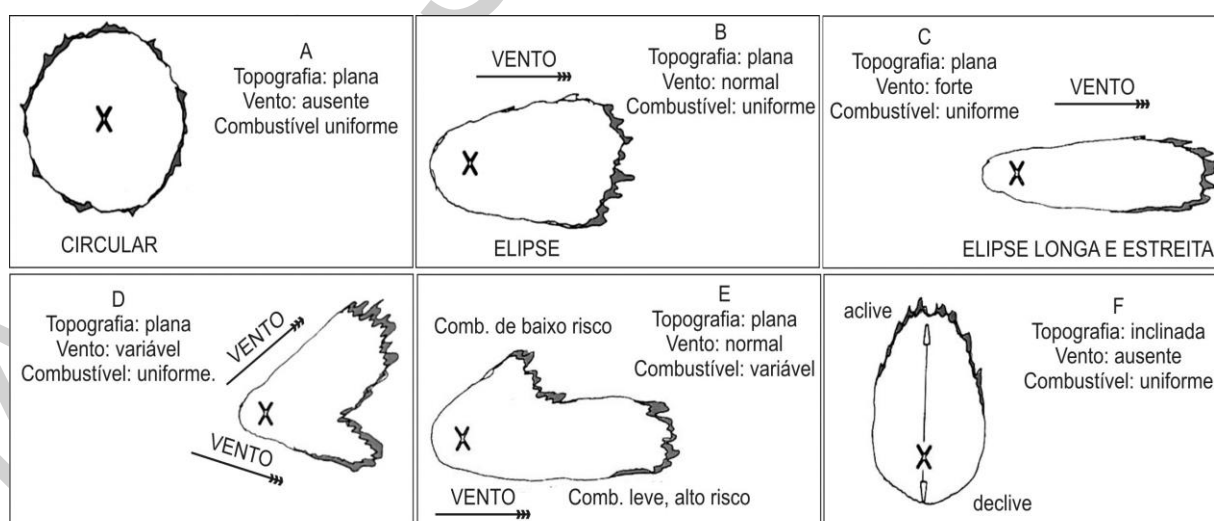
No solo seco, os mecanismos de convecção, evaporação e condensação são mais importantes na transferência de calor. Por outro lado, no solo úmido, a condução pode contribuir significativamente para a transferência de calor (NEARY, FFOLLIOTT e LANDSBERG, 2005).

### 3.2 FORMAS DE PROPAGAÇÃO

Um incêndio florestal apresenta várias formas de propagação. Essencialmente a forma de um incêndio é influenciada pela direção e velocidade dos ventos, pelas diferentes situações topográficas, além de outras características climáticas e relacionadas ao material combustível.

Conforme Cianciulli (1981), a topografia, os ventos e o material combustível determinam a forma dos incêndios. Em locais planos, o fogo se propaga em formas circulares, e, conforme o vento, em elipses. Em relevos acidentados, a tendência normal é a de ocorrer a propagação de formas triangulares na direção do topo. Na Figura 9, podem ser verificadas diversas simulações na forma de propagação de incêndios florestais, baseando-se nas diferentes situações de topografia, material combustível e vento.

Figura 9 - Formas que podem assumir os incêndios florestais

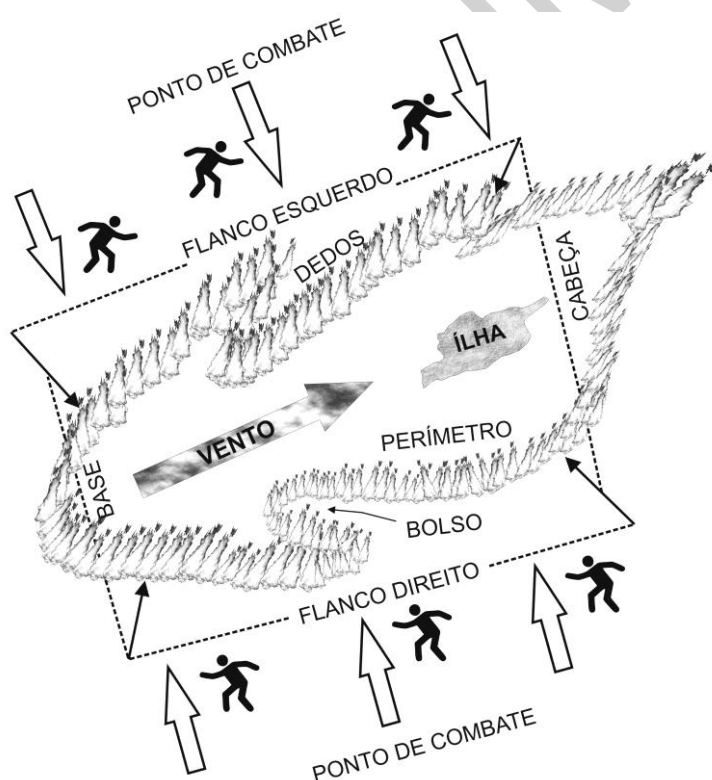


Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

Além da variação do terreno, ventos e material combustível, existem ainda a variação nas condições climáticas, diurnas e noturnas. Essas características possibilitam a distinção de partes em um incêndio, isto é, geralmente existe uma porção bem definida, que se propaga mais rapidamente do que as outras partes do perímetro, normalmente influenciada de maneira mais significativa, pela ação do vento (BATISTA; SOARES, 1997). Segundo Cianciulli (1981), a diferenciação das partes de um incêndio florestal é de fundamental importância para facilitar a análise e as diretrizes do ataque contra o incêndio.

Considerando as diferentes interações que podem ocorrer entre as variáveis já apresentadas, podem ser atribuídas as seguintes partes a um incêndio florestal: cabeça ou frente, flancos e base (ou parte posterior) (Figura 10).

Figura 10 - Formas em que se desenvolve um incêndio florestal



Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

A cabeça ou frente do incêndio é a parte que avança mais rapidamente e segue a direção do vento. A base ou parte posterior é a que avança lentamente contra o vento e, às vezes, se extingue por si só. Os flancos do incêndio ligam a frente à base. Com a mudança do vento ou em condições topográficas favoráveis,

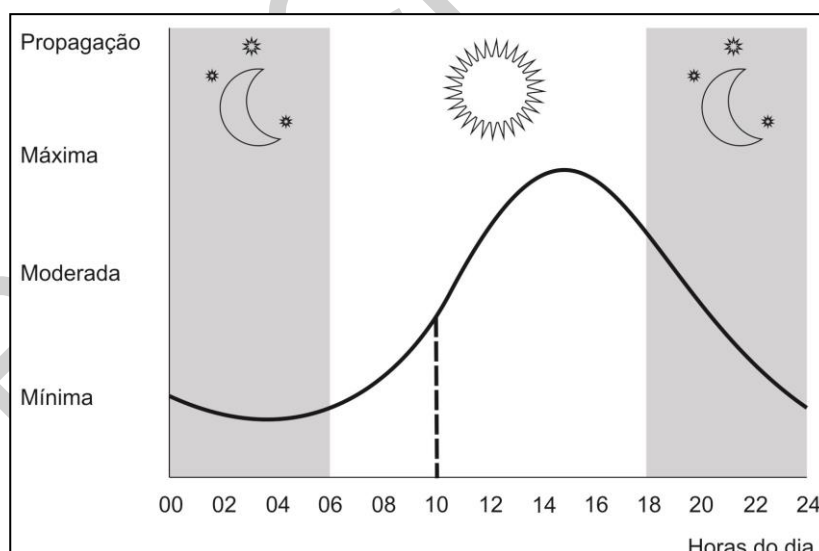
os flancos podem se desenvolver em outras frentes de incêndios. Em muitos casos, os flancos avançam com relativa lentidão, e, nesses casos, os flancos constituem-se no melhor ponto para se iniciar o combate ao fogo (SOARES; BATISTA, 2007).

Os incêndios subterrâneos propagam-se lentamente, e são independentes da direção ou velocidade do vento. Os incêndios de copas avançam rapidamente, com grande poder de destruição, lançando fagulhas ou outros materiais acesos que poderão se converter em novos focos de incêndio.

### 3.3 VARIAÇÃO DA PROPAGAÇÃO

Durante as 24 horas do dia, é possível observar uma considerável variação nos fatores climáticos como a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a direção e intensidade do vento. Durante a noite, com a ausência do calor fornecido pelo sol, ocorre a queda da temperatura e aumento da umidade relativa do ar, dificultando a propagação do fogo (Figura 11).

Figura 11 - Variação da propagação de incêndios florestais durante o dia



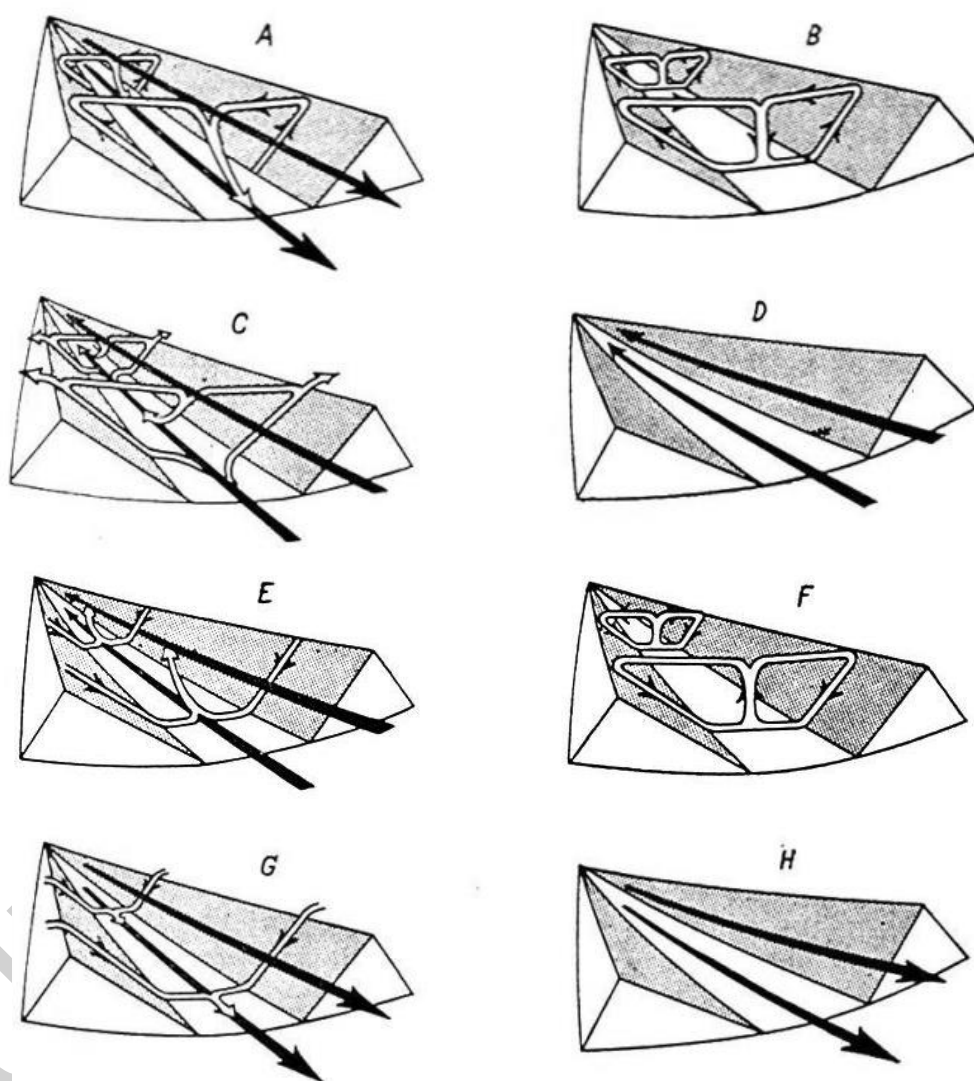
Fonte: Adaptado de Soares e Batista, (2007).

Apesar de fatores e condições especiais poderem, às vezes, modificar o comportamento do fogo, essas considerações relativas à ação do fogo ao longo do dia são de grande importância no combate dos incêndios. A maioria dos incêndios

florestais é mais fácil de combater-se durante as últimas horas da tarde, à noite e de madrugada (SOARES; BATISTA, 2007).

Na Figura 12, pode-se verificar a alternância na direção do vento, em um vale, durante um dia normal de verão.

Figura 12 - Alternância das brisas de encosta e do vale durante um dia de verão



Fonte: Adaptado de Geiger (1999).

Na Figura 12 A, retrata-se a situação logo após o nascer do Sol, com brisas ascendentes da encosta (setas brancas), mas como o ar do vale ainda conserva a temperatura mais baixa do que o ar da planície, a brisa descendente do vale (setas pretas) mantém-se ainda durante a noite, sendo alimentada pelo retorno das brisas

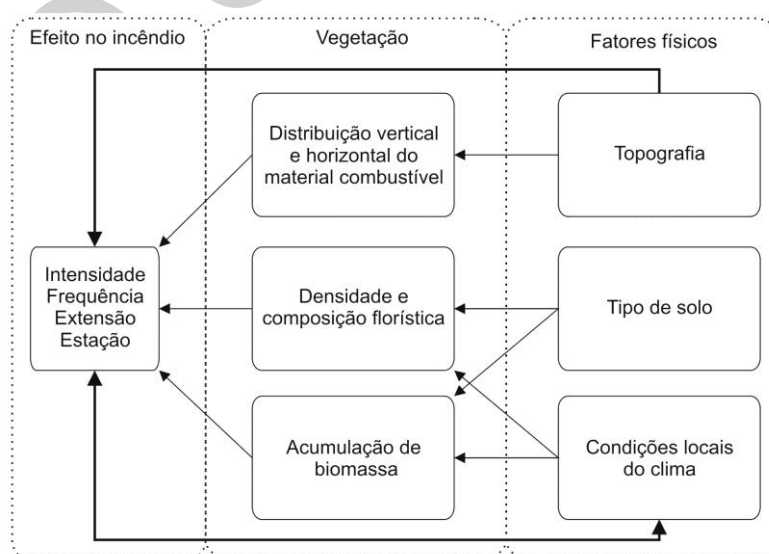


ascendentes da encosta. Com o aumento na temperatura, cessa a brisa do vale e as brisas ascendentes da encosta dominam, promovendo de maneira rápida o aquecimento de toda a massa de ar presente no vale (Figura 12 B). Por volta do meio dia, a brisa ascendente do vale passa a alimentar as brisas ascendentes da encosta, que, por sua vez, recebe massas de ar a meio do vale das correntes de retorno da encosta (Figura 12 C). Ao fim da tarde (Figura 12 D), as brisas ascendentes da encosta cessam, permanecendo apenas a brisa do vale. Na Figura 12 – E, observa-se a transição para a noite; mais tarde ou mais cedo, começam as brisas descendentes. As Figuras 12 F, G e H correspondem à situação inversa apresentada anteriormente nas Figuras 12 B, C e D.

### 3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PROPAGAÇÃO

O entendimento sobre a propagação do fogo pode ser abordado a partir do modelo do triângulo do fogo, em que entram o combustível, o oxigênio e o calor. Segundo Whelan (1995), além dessas características básicas, existem outras que devem ser analisadas de forma conjunta, como características climáticas, da comunidade vegetal e relativa a fatores físicos do ambiente (Figura 13).

Figura 13 - Diagrama esquemático, ilustrando as interações entre as características do fogo, da vegetação e condições físicas



Fonte: Schumacher et al. (2013).

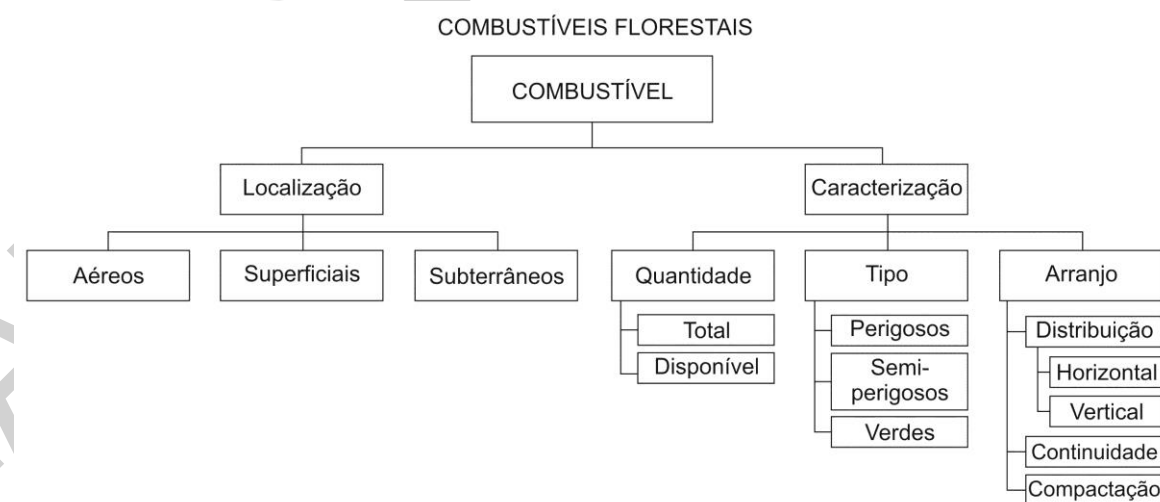
Os efeitos de cada um desses fatores podem variar conforme o local e a época do ano, causando uma grande variação no comportamento do fogo. Considerando as diferentes formas e níveis de interação, pode-se afirmar que, cada incêndio apresenta características próprias de intensidade e propagação (SOARES; BATISTA, 2007)

### 3.4.1 Material combustível

Como visto anteriormente, o material combustível pode ser considerado como todo o material de origem orgânica, como a serapilheira, troncos, galhos, etc., sendo considerado o principal elemento do triângulo do fogo. Torna-se importante o conhecimento das características do material combustível, para poder prevenir ou controlar os incêndios.

De acordo com diagrama abaixo (Figura 14), a localização e as características dos combustíveis florestais são, de uma forma geral, os principais fatores que regem o comportamento do fogo. Clima, topografia e o conteúdo de umidade existente no material combustível são os outros fatores que influenciam na propagação dos incêndios florestais (BEUTLING, 2005).

Figura 14 - Localização e caracterização dos tipos de combustíveis florestais



Fonte: Adaptado de Beutling (2005).

#### 3.4.1.1 Dimensões do combustível

Conforme Soares e Batista (2007), os materiais combustíveis podem, de acordo com suas dimensões e grau de inflamabilidade, serem classificados em combustíveis perigosos, semiperigosos e combustíveis verdes.

Os **combustíveis perigosos** são representados por materiais que, em condições naturais, apresentam fácil e rápida combustão. Nessa categoria incluem-se cascas, ramos, galhos finos ( $\varnothing \leq 1$  cm), folhas, gramíneas, musgos, líquens, etc, quando secos (Figura 15). São materiais que propiciam, com facilidade, o início do fogo, e dependendo da magnitude e abundância, com uma combustão rápida, produzem grandes chamas e muito calor, podendo fazer com que os combustíveis semiperigosos e verdes sequem, tornando-se perigosos.

Figura 15 - Materiais combustíveis perigosos



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Os **combustíveis semiperigosos ou de combustão lenta** incluem o húmus, geralmente úmido, os ramos semisecos, troncos caídos, galhos ( $\varnothing \geq 1$  cm), entre outros. Refere-se assim aos materiais lenhosos que, em razão de sua estrutura, disposição, teor de água, não sejam capazes de queimar rapidamente (Figura 16). Levando em conta a difícil ignição nesses materiais, eles passam a representar importante função no lento avanço do fogo, e para conservar latente a combustão,

uma vez que esses materiais, como por exemplo um tronco, poderá ficar por muitos dias queimando.

Figura 16 - Materiais combustíveis semiperigosos ou de combustão lenta



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Os **combustíveis verdes** se referem à vegetação integrada por árvores, arbustos, ervas, etc, em estado vivo. Considerando que esses materiais verdes contêm um grande teor de água, pode-se considerar que os mesmos são não inflamáveis, porém, isso não impede que possam entrar em combustão após um processo de perda de umidade, o qual poderá ocorrer enquanto o fogo queima o material perigoso e libera calor para aquecê-lo e secá-lo.

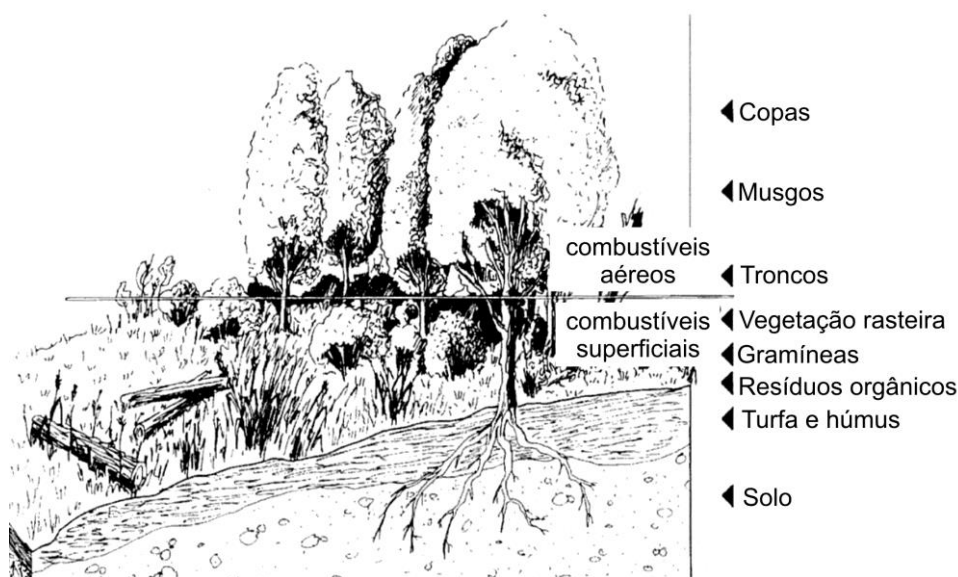
#### 3.4.1.2 Arranjo vertical do combustível

O conhecimento de como se dá a distribuição vertical do material combustível é de elevada importância no comportamento das chamas (Figura 17). Segundo Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), a distribuição vertical do material combustível determina a taxa de propagação e o tipo de incêndio, ou seja, de superfície ou de copa.

Admitindo-se uma situação onde exista a abundância de material vegetal, desde a superfície do solo até as copas das árvores, existirá grande risco de ocorrência de incêndios de copa. Soares e Batista (2007) afirmam que, em

plantações de coníferas, sem poda ou desrama natural, existe a formação de uma escada que facilita o acesso do fogo das camadas superficiais até as camadas formadas pelos galhos ainda presos nas copas das árvores.

Figura 17 - Distribuição vertical do material combustível



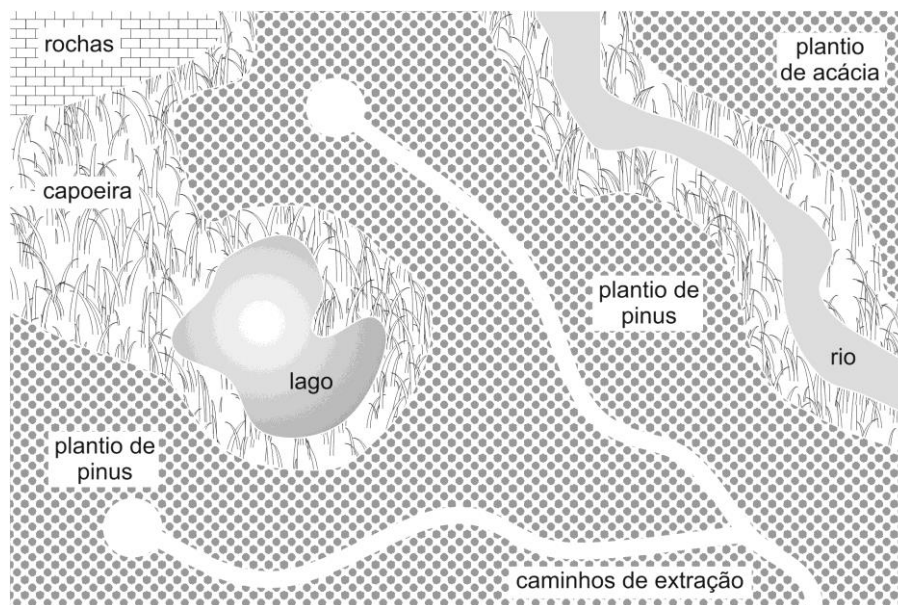
Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Ribeiro (2002) destaca a importância do grau de compactação do material combustível, ou seja, os espaços vazios existentes entre as partículas. Quanto menor o espaço entre as partículas, maior será o grau de compactação e menor será a presença de ar, dificultando a secagem do material e, por conseguinte, do início da combustão.

#### 3.4.1.3. Arranjo horizontal do combustível

No plano horizontal, é considerado como o combustível está disposto em uma determinada área (Figura 18). A continuidade do material controla, parcialmente, a direção e a velocidade de propagação do fogo (SOARES; BATISTA, 2007). Caso ocorra uma distribuição homogênea sobre determinado terreno, ou seja, de maneira contínua, sem falhas, o fogo se propagará facilmente devido à proximidade entre os materiais combustíveis.

Figura 18 - Barreiras naturais e arranjo espacial dos materiais combustíveis



Fonte: Soares e Batista (2007).

Quando ocorre a predominância de materiais de dimensões reduzidas e distribuídos de maneira homogênea, como no caso de gramíneas ou capoeiras, o processo de ignição e combustão ocorre com facilidade, visto a baixa necessidade de calor e a baixa perda no processo de transferência por condução (HEIKKILÄ; GRÖNQVIST; JURVÉLIUS, 2007). Nesse sentido, devemos considerar a disposição de barreiras naturais como rios, estradas, etc., que podem interferir na continuidade do material disposto em uma determinada região.

#### 3.4.1.4 Volume de material combustível

A quantificação do material combustível é importante na caracterização e na previsão do comportamento do fogo. Nem todo o material é consumido em um incêndio. Ao combustível que é realmente consumido, dá-se o nome de material combustível disponível; no entanto, essa determinação antes da queima é de difícil realização (RIBEIRO, 2002).

O volume de material combustível disponível para a combustão em determinada área afetará diretamente a intensidade de um possível incêndio. Caso exista um grande volume de combustível por hectare, o incêndio será de grande intensidade, com a produção de grande quantidade de calor, facilitando sua

propagação aos combustíveis disponíveis ao redor. Na Tabela 3, verifica-se a biomassa dos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus saligna* em diferentes idades.

Tabela 3 - Biomassa dos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus saligna* em diferentes idades

Idade (Anos)	Folhas	Galhos	Casca	Madeira	Raízes	Total
(Mg ha <sup>-1</sup> )						
2	6,4	6,4	3,4	21,6	12,9	50,8
3	7,1	8,8	6,2	55,3	21,4	98,8
4	6,8	11,2	8,9	88,2	28,9	144,1
5	5,7	8,4	10,3	115,3	40,4	180,2
6	4,8	7,6	13,2	153,9	43,1	222,6
7	4,6	8,9	15,2	178,7	32,5	240,0
8	4,1	9,6	17,3	200,4	45,6	277,1

Fonte: Witschoreck (2014).

Durante a quantificação do material combustível, em uma floresta, deve-se separar a quantidade total da quantidade disponível; essa separação é importante, pois, raramente, todo o material é consumido. A quantidade de material disponível depende de outras propriedades, como a proporção de material combustível, vivo e morto, e o tamanho das partículas do material, com a continuidade e o conteúdo de umidade. Normalmente, considera-se como material combustível disponível aquele que possui menos de 2 cm de diâmetro, ou seja, 70 a 80% do material presente na floresta ou povoamento (SOARES; BATISTA, 2007).

Segundo Goldammer (1982), nas plantações de pinus, os resíduos dos desbastes representam um grande perigo. A permanência dos galhos e acículas sobre o solo proporciona um grande aporte de material disponível, que garante ao fogo forte intensidade e a possibilidade de transferência das chamas superficiais até as copas das árvores. Realizando uma analogia com o triângulo do fogo, podemos dizer que, com o aumento da base (material combustível) e, admitindo-se que o oxigênio encontra-se prontamente disponível em grandes quantidades, o aumento no calor produzido durante a combustão será uma consequência, revelando a quantidade de material combustível como um fator decisivo.

### 3.4.1.5 Condições do material combustível

O teor de umidade do material indica o percentual de água contido no mesmo, em relação à sua massa seca. A umidade do combustível é um fator crucial na inflamabilidade, e varia conforme as condições do tempo. De acordo com Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), as três principais fontes de umidade são: a atmosfera, precipitação e a superfície do solo.

Quando a umidade relativa é alta, a umidade do material tende a ser alta e quando a umidade relativa é baixa, ocorre uma diminuição no conteúdo de umidade no material combustível. Obviamente que a chuva tem um efeito direto no comportamento da umidade em combustíveis florestais.

A associação entre a umidade do material e a dificuldade no processo de combustão está relacionada à grande perda de energia na vaporização. Com essa vaporização, ocorre uma constante liberação de vapor de água que dilui o oxigênio do ar nas proximidades desse mesmo material.

O conteúdo de umidade do material combustível vivo é mais estável do que o material morto, que, por sua vez, sofre maior influência das variáveis climáticas. O conteúdo de umidade do material morto, presente no piso florestal, é raramente menor que 2 %, podendo ultrapassar 300 %, como por exemplo, em um tronco semi-decomposto logo após uma chuva. Na vegetação viva, a variação é menor, geralmente de 75 a 150 %; dentre eles, podemos citar: arbustos de até 7 cm de diâmetro, folhas, ramos, ou seja, material que normalmente é consumido em incêndios de média ou alta intensidade (SOARES; BATISTA, 2007). A variação da umidade na vegetação é devida principalmente aos estágios estacionais de crescimento, conforme pode ser verificado no Quadro 3.

Quadro 3 - Conteúdo de umidade do combustível, conforme o estágio de crescimento

<b>Estágio de desenvolvimento da vegetação</b>	<b>Umidade (%)</b>
Brotação nova, no início do ciclo de crescimento	300
Folhagem em maturação, ainda crescendo com vigor	200
Folhagem madura, completado o novo estágio de crescimento	100
Entrando em dormência, começando a amarelar	50
Completamente seco	< 30

Fonte: Adaptado de Batista e Soares (1997).



### 3.4.2 Condições climáticas

Diversas são as variáveis climáticas que interferem no comportamento dos incêndios florestais. O clima é um dos fatores mais importantes para a ocorrência dos incêndios florestais, desde a prevenção até o combate ao fogo.

A combinação entre as diversas variáveis climáticas determina o grau de interferência no incêndio. Um exemplo é o período de chuvas ou as estações secas, quando ocorre uma diminuição ou aumento no perigo de ocorrência de incêndios florestais.

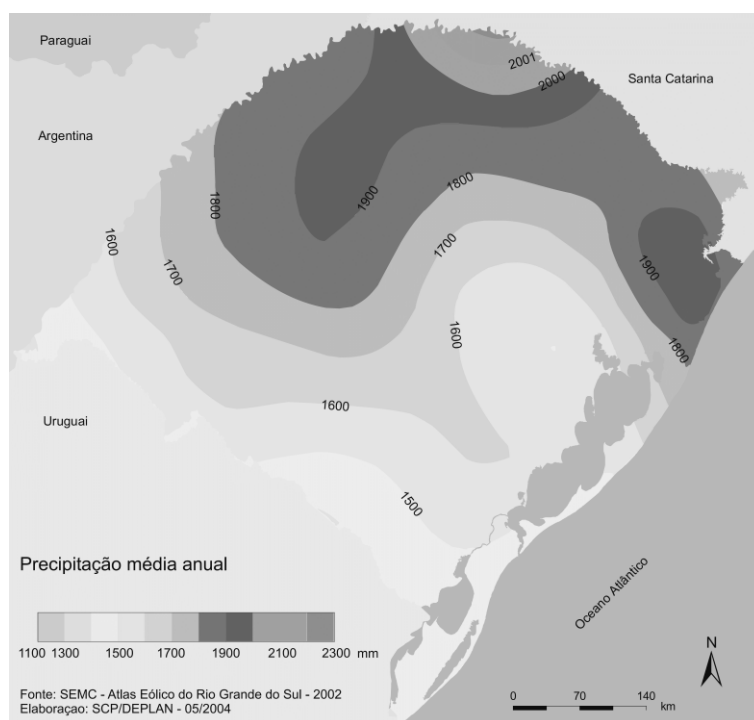
#### 3.4.2.1 Precipitação

A precipitação atua principalmente na disponibilização de umidade para o material combustível, dificultando ou tornando impossível o início e a propagação das chamas. Quanto maiores os períodos de estiagem, maiores são as perdas de umidade dos materiais combustíveis e mais favoráveis se tornam as condições para a ocorrência de incêndios florestais (BATISTA; SOARES, 1997).

Segundo Soares e Batista (2007), a ocorrência da precipitação é fator fundamental para reverter essa tendência. Nesse sentido, é interessante observar a distribuição das chuvas durante o ano. Em um país como o Brasil, que possui um vasto território, essa distribuição na chuva ocorre de forma diferenciada. Em determinadas regiões ocorrem estações secas, que delimitam períodos de maior perigo de ocorrência de incêndios florestais.

Com relação às precipitações, o estado do Rio Grande do Sul apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no mesmo (Figura 19). O volume de chuva, no entanto, é diferenciado. Ao sul, a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500 mm e, ao norte, a média está entre 1.500 e 1.800 mm, com intensidade maior de chuvas a nordeste do Estado, especialmente na encosta do planalto, local com maior precipitação no Estado (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018).

Figura 19 - Precipitação média anual para o estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2018).

#### 3.4.2.2 Temperatura do ar

Conforme Batista e Soares (1997), a temperatura está intimamente ligada ao fogo, contudo, a maioria dos efeitos manifesta-se de maneira indireta. Com o aquecimento do ar e do material combustível, a temperatura de ignição será mais rapidamente alcançada, iniciando o processo de combustão. A permanência do ar em altas temperaturas promove a diminuição do conteúdo de água presente nos combustíveis, aumentando o risco de incêndios.

A temperatura apresenta estreita relação com a umidade relativa do ar, além de agir sobre outros fatores como os ventos e a estabilidade atmosférica. Segundo Goldammer (1982), quando a temperatura se eleva no decorrer do dia, ocorre a diminuição da umidade relativa do ar e vice-versa, afetando diretamente a secagem do material combustível.

Ribeiro (2002) faz três considerações sobre a relação entre o material combustível e a temperatura do ar: os materiais combustíveis finos se aquecem rapidamente pela ação do sol e da temperatura do ar; em áreas montanhosas, as exposições norte e oeste apresentam maiores temperaturas que as faces voltadas

para o sul e leste; os combustíveis dispostos superficialmente, normalmente apresentam maiores temperaturas do que os aéreos.

Além das questões relacionando a temperatura do ar, o material combustível e o comportamento do fogo, Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007) destacam a direta ação do aumento na temperatura sobre os brigadistas no momento do combate ao incêndio, com o aumento do desconforto e rápido desgaste da equipe.

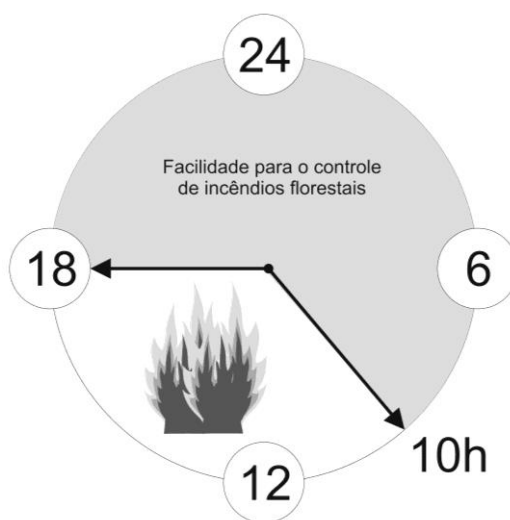
O clima do Rio Grande do Sul é temperado, do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido. Devido à sua posição geográfica, entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" sul e 49°42'41" e 57°40'57" oeste, apresenta grandes diferenças em relação ao Brasil. As temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com a ocorrência de geada e precipitação eventual de neve. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas podendo chegar até -10 °C e máximas de 40 °C (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018).

#### *3.4.2.3 Umidade relativa do ar*

Se considerados isoladamente os fatores ambientais, a baixa umidade do ar é um dos fatores mais importantes na propagação dos incêndios florestais nas estações secas, como ocorre na região sul do Brasil e nas áreas de cerrado (RIBEIRO, 2002).

Baixos valores de umidade relativa do ar favorecem a secagem do material combustível. O valor da umidade relativa do ar é o principal indicador de perigo de incêndio florestal (ocorrência e propagação). Para avaliar o perigo de um incêndio, pode-se valer da seguinte observação proposta por Goldammer (1982): se a umidade relativa do ar, às 10:00 horas da manhã, for de 40 % ou menos, o perigo pode ser considerado muito alto, levando em conta o aumento da temperatura durante a tarde e consequente diminuição da umidade relativa do ar; assim, as condições favorecerão o início e a propagação do fogo (Figura 20).

Figura 20 - Variação da umidade relativa do ar e a propagação do fogo



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Conforme Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), podem-se considerar quatro regras básicas quanto à umidade relativa do ar: a) para cada aumento de 20 °C na temperatura, a umidade relativa duplica, e para cada queda de 20 °C na temperatura, a umidade relativa é reduzida pela metade; b) pode-se considerar valores em torno de 30 °C como favoráveis ao início de incêndios; c) valores abaixo de 30 °C determinam facilidade no combate e d) a umidade relativa varia bastante durante as 24 horas do dia.

Cianciulli (1981) destaca a relação entre o teor de umidade dos materiais florestais e a umidade relativa do ar, afirmando a necessidade de se conhecer suas variações durante o dia, frente às previsões que podem ser feitas quanto à propagação do fogo (Tabela 4).

Tabela 4 - Relação entre decréscimo da umidade relativa do ar e o aumento da velocidade de propagação do fogo

Porcentagem de umidade relativa do ar %	Fator de propagação
41-45	1,0
31-40	1,4
26-30	2,0
16-25	2,8
15 ou menos	3,2

Fonte: Adaptado de Cianciulli (1981).

Segundo Soares e Batista (2007), a perda ou ganho de umidade pelos combustíveis florestais está diretamente associada ao seu tamanho e constituição. Materiais finos podem alcançar um conteúdo de umidade de equilíbrio em poucos minutos, ao passo que no aumento das dimensões, como em galhos e troncos, esse tempo pode ser prolongado. Observando-se o princípio do tempo de resposta, o material combustível “morto” pode ser dividido em várias classes, de acordo com seu diâmetro médio (Tabela 5).

Tabela 5 - Classes de material combustível e respectivos tempos de resposta médios em relação à umidade de equilíbrio

<b>Classe do material combustível (diâmetro em cm)</b>	<b>Tempo médio de resposta (horas)</b>
< 0,7	1
0,7 a 2,4	10
2,5 a 7,6	100
> 7,6	> 100

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

#### 3.4.2.4 Vento

Como já visto anteriormente, o vento assume grande importância no comportamento do fogo, essencialmente pelo fornecimento, ou seja, pela renovação do oxigênio na área de combustão, por transferir o calor para os demais combustíveis presentes ao redor, pelo transporte de material particulado incandescente que proporciona novos focos, e por interferir na forma e taxa de propagação do fogo.

O microclima da floresta é fortemente influenciado pelo vento, principalmente por diminuir a umidade relativa do ar e aumentar as taxas de evaporação. Durante o incêndio, o papel do vento é de promover o pré-aquecimento do material combustível na frente do fogo, promovendo a combustão de maneira mais rápida (Tabela 6). Segundo Whelan (1995), a taxa de renovação do oxigênio e, portanto, a velocidade com que o fogo se propaga, está estreitamente ligada à natureza do material combustível. Materiais combustíveis que se apresentam de forma mais compacta ou densa tendem a diminuir a magnitude desse efeito do vento.

Tabela 6 - Influência da velocidade do vento sobre a velocidade relativa de avanço do fogo

<b>Velocidade do vento km h<sup>-1</sup></b>	<b>Fator de velocidade de avanço</b>
8 – 16	1,0
17 – 25	2,0
26 – 32	2,8
33 – 40	3,2
41 - 48	3,4

Fonte: Adaptado de Goldammer (1982).

Dentre os parâmetros meteorológicos, o vento é o mais variável e menos previsível durante um incêndio florestal. O próprio fogo pode mudar a direção do vento, por meio dos movimentos de convecção do ar. A velocidade e a direção do vento podem ser determinadas facilmente com a utilização de anemômetros, ao passo que, atualmente, existem equipamentos portáteis como, por exemplo, uma estação meteorológica digital portátil (Figura 21) que são capazes de medir, simultaneamente, a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar, ou seja, as principais variáveis envolvidas no comportamento do fogo.

Figura 21 - Estação Meteorológica Digital Portátil “SpeedTech - Mod. SM-28”



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Caso não existam equipamentos disponíveis, o que normalmente ocorre em condições de campo, pode-se utilizar a escala de Beaufort (Quadro 4), que fornece,

empiricamente, uma estimativa dessa velocidade a partir da observação dos efeitos do vento, essencialmente sobre a vegetação.

Quadro 4 - A escala Beaufort de ventos

Beaufort	Condição	Vento (m s <sup>-1</sup> )	Vento (km h <sup>-1</sup> )	Efeitos observados em terra
0	Calma	< 0,3	< 01	Fumaça sobe verticalmente; nada se move com o vento.
1	Aragem	0,3 – 1,5	01 – 05	Direção do vento dada pela fumaça; cata-ventos não se movem.
2	Brisa Leve	1,6 – 3,3	06 – 11	Folhas e pequenos arbustos movendo-se; sente-se o vento no rosto.
3	Brisa Fraca	3,4 – 5,4	12 – 19	Folhas e pequenos arbustos em agitação contínua; bandeiras abrindo.
4	Brisa Moderada	5,5 – 7,9	20 – 28	Pequenos galhos em movimento; poeira e papéis levantados.
5	Brisa Forte	8,0 – 10,7	29 – 38	Galhos grandes e pequenas árvores começam a mover-se.
6	Vento Fresco	10,8 – 13,8	39 – 49	Galhos grandes de árvores agitados; fios de postes assobiam; difícil usar guarda-chuva.
7	Vento Forte	13,9 – 17,1	50 – 61	Árvores com troncos oscilam; dificuldade em caminhar contra o vento.
8	Ventania	17,2 – 20,7	62 – 74	Quebram-se galhos nas árvores; difícil andar contra o vento.
9	Ventania Forte	20,8 – 24,4	75 – 88	Pequenos danos em edificações, com telhas e chaminés arrancadas.
10	Tempestade	24,5 – 28,4	89 – 102	Árvores são derrubadas; danos estruturais em edificações.
11	Tempestade Violenta	28,5 – 32,6	103 – 117	Prejuízos e perigos generalizados.
12	Furacão	32,7 – 36,9	118 – 133	Prejuízos e destruição graves e generalizados.

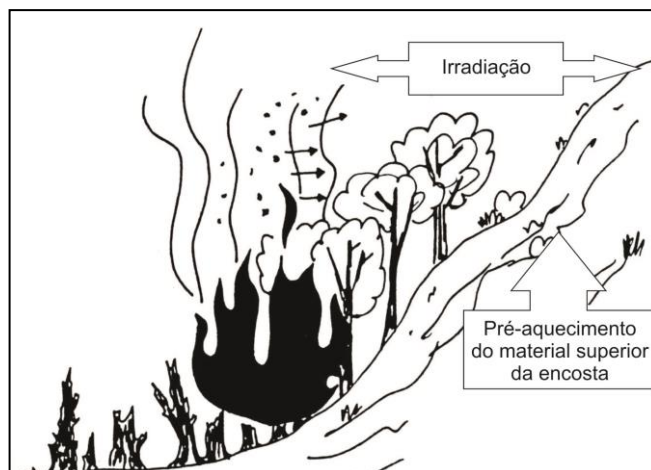
Fonte: Adaptado de Boreste (2012).

### 3.4.3 Topografia

A topografia atua sobre o fogo de forma semelhante ao vento, porém, diferentemente do vento, é um fator constante, que não se modifica facilmente. Em áreas declivosas, a propagação do fogo é facilitada (Figura 22) à medida que o grau de inclinação aumenta. Desconsiderando-se a ação do vento, o fogo tende a se

alastrar para cima, visto que as chamas produzidas passam a aquecer o material combustível localizado na parte superior do terreno, favorecendo sua ignição e a continuidade na propagação do fogo.

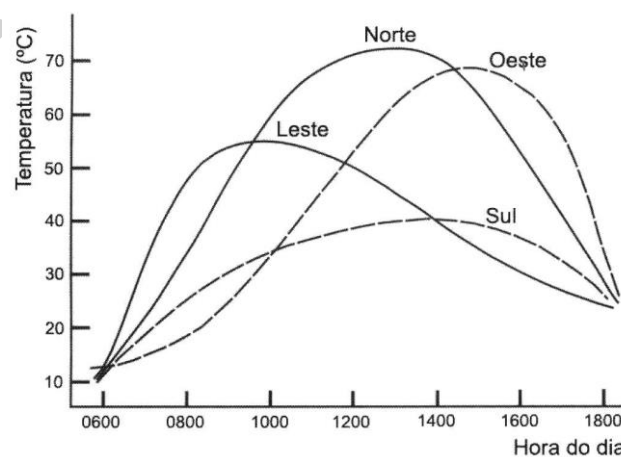
Figura 22 - Influência da inclinação e exposição do terreno na propagação dos incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Goldammer (1982).

Como visto anteriormente, a topografia proporciona diferentes graus de exposição à radiação solar (Figura 23); isso determina diferentes condições de temperatura do material combustível, além de influenciar o movimento das correntes de ar no interior dos vales.

Figura 23 - Efeito da exposição na temperatura da superfície do solo em um aclave de 45° de latitude sul



Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).



Segundo Cianciulli (1981), a topografia de determinados locais tem uma maior importância e influência do que os ventos na propagação do fogo (Tabela 7).

Tabela 7 - Propagação do fogo segundo o declive.

<b>Porcentagem de inclinação</b>	<b>Fator de propagação</b>
05 – 15	1,00
16 – 25	1,05
26 – 35	1,15
36 – 45	1,20
46 – 55	1,25

Fonte: Adaptado de Cianciulli (1981).

As condições topográficas do terreno podem ainda dificultar ou extinguir a propagação do fogo. Como barreiras naturais ao fogo, podemos citar: a configuração dos morros, os rios, córregos, estradas ou caminhos, etc.

#### **4 COMPORTAMENTO DO FOGO**

Uma das alternativas para se diminuir o risco de incêndio ou diminuir o potencial de danos é reduzir periodicamente a quantidade de material combustível no interior dos povoamentos, através de queima controlada, conhecendo-se a intensidade do fogo (BATISTA; SOARES, 1997).

Quando um povoamento de pinus ou eucalipto é estabelecido e protegido do fogo, o material combustível vai se acumulando e pode exceder em muito à quantidade existente na vegetação natural. Como a intensidade do fogo é diretamente proporcional à quantidade de material disponível, os incêndios que ocorrem nessas circunstâncias serão potencialmente muito mais destrutivos, devido à alta intensidade dos mesmos (SOARES, 1985).

Segundo Soares e Batista (2007), os estudos das características inerentes ao fenômeno fogo permitem compreender os fatores que exercem papéis importantes no comportamento dos incêndios florestais. As variáveis que descrevem esse comportamento são: taxa de propagação, intensidade do fogo, energia liberada, tempo de residência, além de outras variáveis importantes para determinação dos efeitos do fogo na vegetação, como temperaturas alcançadas e altura de crestamento.

Para uma intensidade baixa, semelhante a uma queima controlada, o fogo não afeta significativamente a floresta. Quando a intensidade é moderada, pode ocorrer ataque de fungos e insetos devido à redução da resistência das árvores. Intensidades altas, quando não resultam na morte das árvores, causam severos danos às mesmas, reduzindo significativamente o incremento e, conseqüentemente, o volume final de madeira da floresta (TOZZINI; SOARES, 1987). Os mesmos autores relacionam os diferentes parâmetros do comportamento do fogo com quatro diferentes níveis de queima, que, por sua vez, retratam os níveis de danos causados pelo fogo (Tabela 8).

Tabela 8 - Parâmetros do comportamento do fogo relacionados com os respectivos níveis de queima

Parâmetros do fogo	Níveis de queima*			
	I	II	III	IV
Altura de queima (m)	0,85	2,03	4,54	11,38
Porcentagem de queima em relação à altura da árvore (%)	7	18	40	100
Intensidade do fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	44,3	293,0	1680,7	12345,6
Altura de crestamento (m)	1,4	9,7	41,0	167,0
Porcentagem de crestamento em relação à altura da árvore (%)	12	85	> 100	> 100

Fonte: Adaptado de Tozzini e Soares (1987).

\* **Nível de queima I** → Ocorre a queima apenas do material combustível (serapilheira) e sub-bosque, não danificando os indivíduos adultos. **Nível de queima II** → Ocorre a queima do material combustível (serapilheira), sub-bosque e crestamento parcial das copas (18% da altura total da árvore). **Nível de queima III** → Ocorre a queima parcial da copa (em torno de 40% da altura total da árvore). **Nível de queima IV** → Queima total da árvore.

Raramente as características acima citadas são descritas em termos quantitativos nos estudos sobre os efeitos do fogo. Normalmente, apenas são anotadas informações sobre a ocorrência dos incêndios. Essas observações feitas de maneira superficial e empírica tornam muito difícil correlacionar resultados de diferentes estudos (ROTHERMEL; DEEMING, 1980).

#### 4.1 TAXA DE PROPAGAÇÃO OU VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO

É a variável que descreve a taxa em que o fogo aumenta, tanto em área quanto linearmente. A taxa de propagação linear, normalmente expressa em metros

por segundo, metros por minuto ou quilômetros por hora. A partir dessa e outras variáveis, pode-se calcular a intensidade do fogo.

Atualmente, nos simuladores do comportamento do fogo, a estimativa da velocidade de propagação geralmente é feita por meio de modelos semifísicos derivados do modelo de Rothermel (1972), ou de forma mais simples, com a utilização de modelos empíricos obtidos a partir de dados coletados sob condições naturais, possibilitando o uso de poucas variáveis, facilitando o seu uso de maneira satisfatória (Quadro 5).

Quadro 5 - Alguns exemplos de modelos empíricos de estimativa da velocidade de propagação do fogo

Autor	Equação	Termos da equação	Particularidade
Trabaud (1979)	$R = \frac{5,72 \cdot V^{0,400} \cdot h_v^{0,352}}{U^{1,12}}$	R = Vel. de propagação do fogo (cm/s) V = Velocidade média do vento (cm/s) h <sub>v</sub> = Alt. da vegetação (cm) U = Cont. de umid. vegetação verde (%)	Desenvolvido a partir da observação da queima de vegetação arbustiva de até 1,5 m de altura
McArthur (1962)	$R = 0,22 \cdot e^{(0,158 \cdot U_{1,5} \cdot 0,227 \cdot M_f)}$	R = Vel. de propagação do fogo (m/min) U <sub>1,5</sub> = Vel. do vento no interior da floresta à 1,5 m de altura M <sub>f</sub> = Umid. do material comb. fino (%)	Desenvolvido em povoamentos de eucaliptos na Austrália
Didwell e Engle (1991)	$R = [0,07 \cdot (0,005 \cdot FMF)] - 0,004 \cdot RH$	R = Vel. de propagação do fogo (m/min) FMF = Umidade do material comb. (%) RH = Umidade relativa do ar (%)	Desenvolvido nos EUA em vegetação de campo
Fernandes (2001)	$R = 7,255 \cdot e^{(0,092 \cdot U)} \cdot e^{(-0,067 M_b)} \cdot h^{0,932}$	R = Vel. de propagação do fogo (m/min) U = Vel. do vento a 2 m de altura (km/h) M <sub>b</sub> = Cont. de umid. do mat. comb. Fino morto (<0,7 cm de diâmetro) (% do peso da matéria seca)	Desenvolvido para vegetação arbustiva típica das paisagens mediterrâneas de Portugal

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

Segundo Soares e Batista (2007), o modelo semifísico desenvolvido por Rothermel (1972) se baseia na teoria de conservação de energia:

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \Phi_w + \Phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (4)$$

Onde:

$R$  = velocidade de propagação do fogo (ft min<sup>-1</sup>)

$\xi$  = razão do fluxo de propagação (adimensional)

$I_R$  = intensidade de reação (Btu ft<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>)

$\Phi_w$  = coeficiente do vento (adimensional)

$\Phi_s$  = coeficiente de declividade (adimensional)

$\rho_b$  = peso do material combustível por volume de combustível depositado no solo (lb ft<sup>-3</sup>)

$\varepsilon$  = calor de pré-ignição (Btu lb<sup>-1</sup>)

$Q_{ig}$  = calor necessário para queimar 1 libra de combustível (Btu lb<sup>-1</sup>)

A velocidade de propagação do fogo pode ser obtida diretamente no local onde está ocorrendo o incêndio. Para tanto, basta verificar o tempo que o fogo demora em passar por distancias pré-estabelecidas marcadas no terreno. Na Tabela 9, Botelho e Ventura (1990) apud Soares e Batista (2007) propõem uma escala para a velocidade de propagação do fogo.

Tabela 9 - Escala de classificação da velocidade de propagação do fogo

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

Fonte: Adaptado de Botelho e Ventura (1990) apud Soares e Batista (2007).

## 4.2 INTENSIDADE DO FOGO

A intensidade do fogo pode ser considerada uma das variáveis mais importantes para caracterizarmos o comportamento do fogo. Ela representa a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da

frente de fogo. Na equação 5 descrita abaixo, a intensidade é igual ao produto da quantidade de combustível disponível pelo seu poder calorífico e pela velocidade de propagação do fogo, conforme desenvolvido por Byram (1959) apud Batista e Soares (1997):

$$I = H \cdot w \cdot r \quad (5)$$

Onde:

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

$H$  = poder calorífico em ( $\text{kcal kg}^{-1}$ )

$w$  = peso do combustível disponível em ( $\text{kg m}^{-2}$ )

$r$  = velocidade de propagação do fogo ( $\text{m s}^{-1}$ )

Segundo Tozzini e Soares (1987), a intensidade do fogo pode também ser obtida em função do comprimento médio das chamas, ou ainda pela facilidade, pode ser realizada uma aproximação do comprimento a partir da altura média das chamas. Segundo os mesmos autores, esse cálculo pode ser realizado com a equação 6 de Byram (1959) modificada por Rothermel e Deeming (1980):

$$I = 62,08 \cdot h_c^{2,17} \quad (6)$$

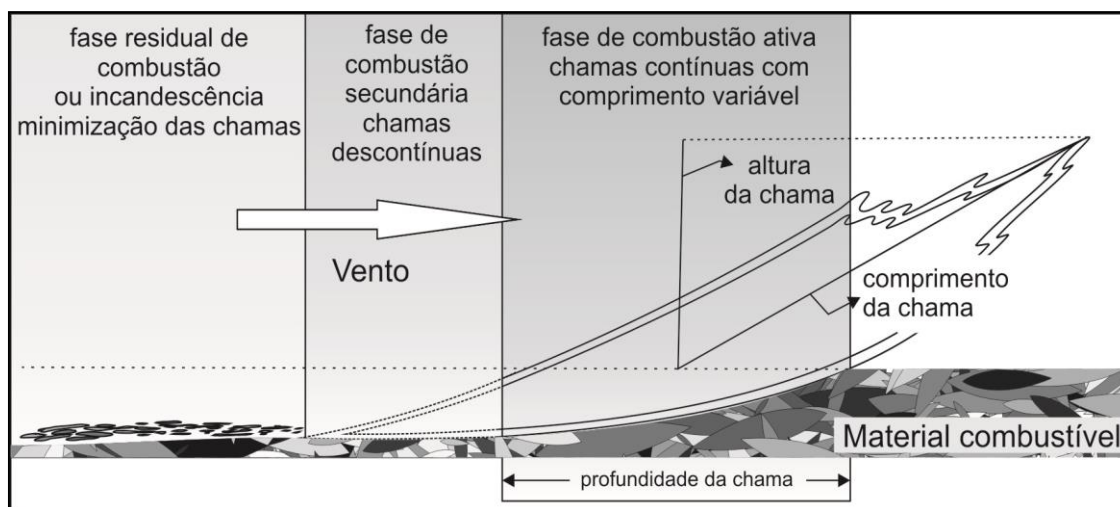
Onde:

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

$h_c$  = comprimento das chamas (m)

O comprimento das chamas pode ser estimado durante o incêndio, ou posteriormente por meio de fotografias, desde que se possa estipular uma escala (SOARES; BATISTA, 2007). Na Figura 24, estão indicados o comprimento e a altura das chamas; por definição, o comprimento da chama é a medida entre a ponta da chama e a superfície do solo na posição situada no meio de sua zona ativa.

Figura 24 - Dimensões da chama em um incêndio



Fonte: Adaptado de Whelan (1995).

O valor de intensidade do fogo pode ser considerado um parâmetro para a comparação das taxas de energia liberadas por diferentes incêndios. Cabe salientar que a liberação do calor não se limita à parte da frente do fogo, se estendendo por toda a área em que exista o processo de combustão. Em fogos que se propagam lentamente, essa faixa é pequena e a liberação de calor é mínima; contudo, em incêndios de grandes proporções, a faixa de combustão pode abranger centenas de metros com uma grande liberação de calor (SOARES; BATISTA, 2007)

#### 4.3 CALOR POR UNIDADE DE ÁREA

É a quantidade de energia calorífica, liberada durante a queima do material combustível durante o incêndio, por unidade de área. Soares e Batista (2007) propõem duas formas para o cálculo, abaixo descritas:

$$H_a = \frac{I}{r} \quad (7)$$

Onde:

$H_a$  = Calor liberado ( $\text{kcal m}^{-2}$ )

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

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

O cálculo pode ser realizado diretamente pela multiplicação do calor de combustão pela quantidade de material combustível consumido:

$$H_a = H \cdot w \quad (8)$$

Onde:

$H_a$  = calor liberado ( $\text{kcal m}^{-2}$ )

$H$  = poder calorífico ( $\text{kcal kg}^{-1}$ )

$w$  = quantidade de material combustível consumido ( $\text{kg m}^{-2}$ )

#### 4.4 ALTURA DE CRESTAMENTO LETAL

Denomina-se altura de crestamento letal a altura média de secagem letal da folhagem das árvores, causada pelos gases quentes que se desprendem da zona de combustão; as folhas crestadas não são consumidas pelo fogo, permanecendo intactas, porém, secas e mortas, com coloração marrom. É um efeito do fogo de fácil verificação e um importante parâmetro para se estimar os danos causados pelo incêndio à plantação. Sua principal aplicação é na composição de modelos, usados na estimativa de probabilidade de sobrevivência das árvores de povoamentos afetados por incêndios florestais (SOARES; BATISTA, 2007).

Os mesmos autores destacam que vários pesquisadores (MCARTHUR, 1962; GOULD, 1994; FINNEY; MARTIN, 1993) têm feito estimativas da altura de crestamento, desenvolvendo diferentes equações, utilizando variáveis associadas à intensidade do fogo. Nesse sentido, destacam a equação 9 de Finney e Martin (1992) (*Sequoia sempervirens*) e a equação 10 de Van Wagner (1973) (*Pinus ponderosa*) respectivamente, descritas abaixo:

$$P = e \{- [DBH \div (0,338 S_h + 0,1 F_c)]^{2,149}\}. \quad (9)$$

Onde:

$P$  = probabilidade de mortalidade da árvore

$DBH$  = DAP da árvore (cm)

$S_h$  = altura de crestamento (m)

$F_c$  = material combustível consumido ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

$$h_s = \frac{3,94 \cdot I^{\frac{7}{6}}}{(0,107 \cdot I + V^3)^{0,5} (60 - T)}$$
(10)

Onde:

$h_s$  = altura de crestamento letal (m)

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

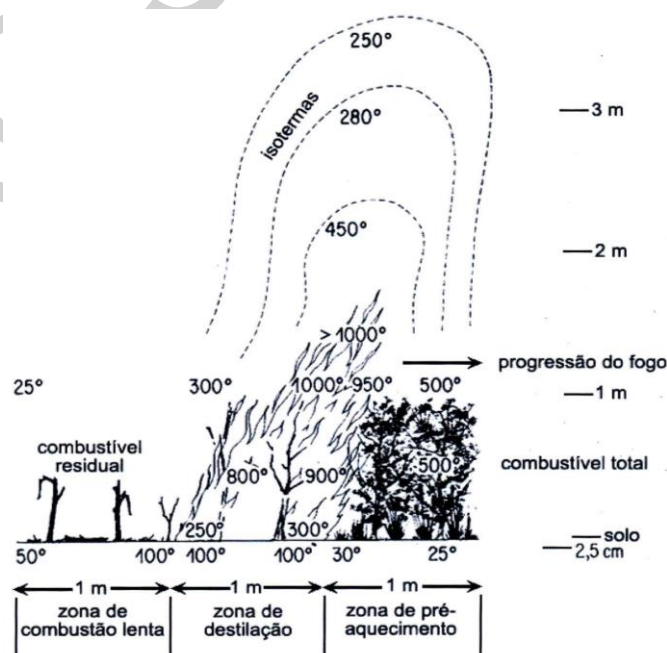
$V$  = velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ )

$T$  = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### 4.5 TEMPERATURAS NA ZONA DE COMBUSTÃO

As temperaturas verificadas em um incêndio florestal estão relacionadas a fatores como: velocidade de propagação, tipo de combustível e época de queima. A maioria das pesquisas registram valores máximos entre 600 e 800  $^{\circ}\text{C}$ , podendo ser inferior a 300  $^{\circ}\text{C}$  ou superior a 1000  $^{\circ}\text{C}$ , conforme a intensidade do fogo. Na Figura 25, verifica-se que a zona de destilação dos gases é a que apresenta as mais altas temperaturas, sendo seguida pelas zona de pré-aquecimento e zona de combustão latente ou incandescência (SOARES; BATISTA, 2007).

Figura 25 - Dispersão da temperatura em um incêndio florestal, de acordo com a fase de combustão



Fonte: Soares e Batista (2007).



Existe grande variação nos resultados sobre a temperatura em incêndios florestais. Esse comportamento, observado em diferentes estudos, pode ser atribuído à estreita relação da temperatura com fatores determinantes, tais como: diferentes condições ambientais, tipo e quantidade de material combustível.

#### 4.6 TEMPO DE RESIDÊNCIA

O intervalo de tempo em que a frente de fogo permanece num determinado ponto é também um importante componente do comportamento do fogo. Essa importância se deve ao fato de que os danos causados à vegetação dependem não apenas da temperatura do fogo, mas também do tempo de exposição da vegetação a essa temperatura.

O tempo de residência pode ser medido diretamente ou estimado através de outros parâmetros. Acompanhando a variação da temperatura, com pares térmicos colocados na superfície do solo, pode-se determinar o tempo de residência como sendo o intervalo entre o aumento significativo da temperatura e o seu declínio aos níveis anteriores. O tempo de residência pode também ser medido com um cronômetro, observando-se o tempo gasto pela frente de fogo para passar por um ponto pré-determinado (SOARES; BATISTA, 2007).

Segundo Whelan (1995), o tempo de residência pode ser calculado através da velocidade de propagação do fogo e da profundidade (ou largura) da chama. Profundidade da chama é a distância horizontal entre duas extremidades da chama. A relação é a seguinte:

$$t_R = \frac{D}{R} \quad (11)$$

Onde:

$t_R$  = tempo de residência (min.)

$D$  = profundidade da chama (m)

$R$  = velocidade de propagação do fogo (m min.<sup>-1</sup>)

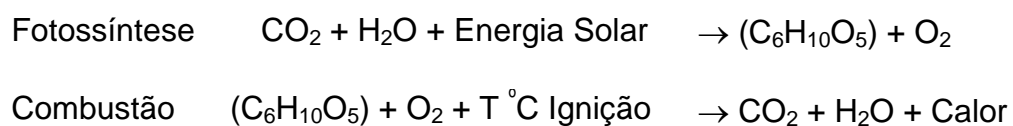
Uma estimativa do tempo de residência pode ser feita também com base no tamanho médio das partículas de combustível. Segundo essa relação, o tempo de residência, em minutos, é igual a 3,15 vezes o tamanho (diâmetro médio) em

centímetros das partículas de combustível (ROTHERMEL, 1983 apud SOARES; BATISTA, 2007).

## 5 EFEITO DOS INCÊNDIOS

Os incêndios florestais constituem, sem dúvida alguma, a principal fonte de injúria às florestas. Sob certos aspectos e em circunstâncias especiais, os incêndios podem também representar alguns benefícios para a floresta. Porém, existe uma grande disparidade entre a importância dos danos causados e os benefícios proporcionados.

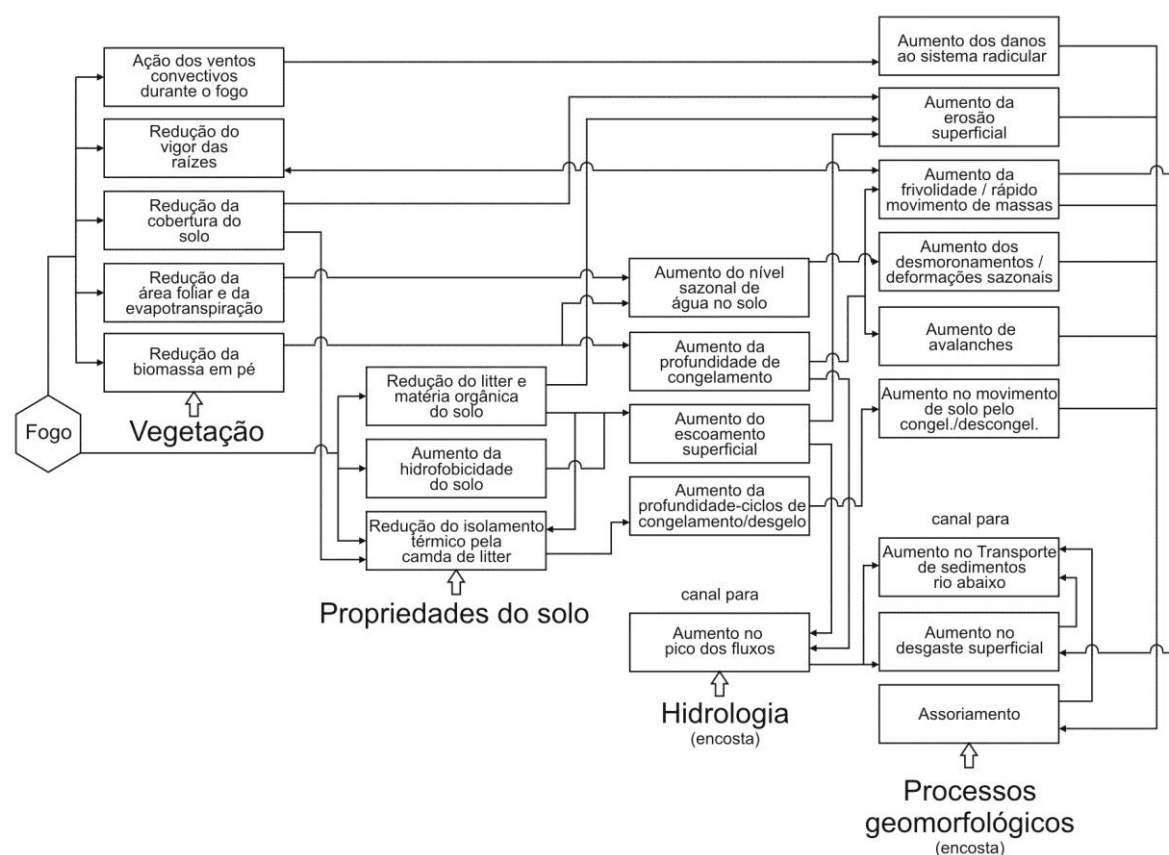
Existe uma relação entre fogo e silvicultura que é de vital importância para o Engenheiro Florestal. A silvicultura comercial está diretamente dirigida à produção de fibra de madeira e à criação e manutenção de uma cobertura verde. Basicamente, a silvicultura consiste em manejar a fotossíntese, processo químico do qual toda a vida depende, e através do qual o dióxido de carbono, água e energia solar são combinados para produzir celulose e outros carboidratos. O processo é lento e contínuo. O fogo, por sua vez, rapidamente reverte o processo, e libera sob forma de calor a energia armazenada pela fotossíntese. O fogo, portanto, é o processo inverso da fotossíntese, ou seja, é um processo de decomposição.



Os incêndios florestais podem causar diversos tipos de danos às florestas, dependendo das condições existentes, principalmente quanto ao tipo de floresta, material combustível e clima. Os danos diretos em um incêndio florestal são aqueles visíveis e de fácil avaliação, como por exemplo, a quantidade de madeira queimada, as construções destruídas, etc. Os danos indiretos são aqueles que só serão visíveis com o decorrer do tempo, como por exemplo, o assoreamento dos rios, inundações, erosão, perdas no turismo e aspecto recreativo, etc.

Na Figura 26, podem-se verificar os diversos efeitos do fogo, em diferentes componentes do ecossistema.

Figura 26 - Efeitos diretos ou indiretos do fogo nas propriedades do solo, hidrologia e geomorfologia



Fonte: Adaptado de Swanson (1981).

O fogo é um processo ecológico, que desencadeia uma série de condições e processos associados. Para explicar essa rede, pode ser útil categorizar os efeitos do fogo. Efeitos de primeira ordem são as ações imediatas do fogo, ou seja, a mortalidade das plantas, o consumo de material orgânico, a emissão de fumaça e alterações físico-químicas do ambiente. Os efeitos de segunda ordem são muitos e dependem da natureza dos efeitos de primeira ordem e das condições do ambiente após a ocorrência do fogo, especialmente do solo, clima, e da atividade animal. Como efeitos de segunda ordem, podem-se citar: mudanças no microclima; aumento da temperatura do solo; mudanças nos nutrientes do solo e atividade microbiana; regeneração da vegetação; sucessão e novos padrões de vegetação; alteração nas taxas de crescimento das plantas e interações competitivas; alteração do habitat dos animais selvagens e da atividade de invertebrados e vertebrados; mudança na capacidade de armazenamento de água e padrão de vazão (BROWN; SMITH, 2000).

## 5.1 EFEITOS BENÉFICOS DOS INCÊNDIOS

Sob o ponto de vista silvicultural, o fogo pode, em determinadas ocasiões e condições, resultar em alguns benefícios para a floresta. Porém, o uso do fogo deve ser feito sempre com cuidado, de forma prudente e controlada. Segundo Batista e Soares (1997), as principais razões para se usar a queima controlada no manejo de florestas são: redução do material combustível, preparo de terreno, melhoria do habitat para a fauna silvestre, controle de espécies indesejáveis, controle de pragas e doenças, melhoria de pastagens e melhoria da estética.

### 5.1.1 Combate a incêndios

Folhas ou acículas caídas, arbustos, gramíneas, resíduos de colheita são partes integrantes das florestas e plantações comerciais. Esses combustíveis, e mesmo as próprias árvores, podem produzir acumulação altamente perigosa, merecendo uma atenção por parte do técnico florestal, principalmente porque eles formam um dos componentes do triângulo do fogo que pode ser manejado ou controlado (SOARES; BATISTA, 2007)

Podemos usar o fogo na prevenção ou no combate a incêndios florestais na forma de contrafogo, aumentando a área de aceiro, transformando-se numa excelente arma para deter o avanço das chamas. Esse tipo de controle se dá basicamente pela eliminação do material combustível, que estaria ao alcance das chamas em determinado ponto, para o qual a direção de propagação do fogo aponta. Sua eficiência depende, portanto, da topografia, direção dos ventos, quantidade e qualidade do material combustível. Essa técnica de combate será abordada de maneira mais específica quando tratarmos das técnicas de queima.

### 5.1.2 Controle de pragas e doenças

O fogo pode matar alguns animais nocivos ou destruir seus abrigos, principalmente formigas, cupins e pequenos roedores que danificam sementes ou causam anelamento na casca e câmbio. Insetos, como o serrador da acácia-negra (*Oncideres* sp.) e muitos fungos, são combatidos com sucesso fazendo-se a queima dos galhos secos das plantas afetadas.

Segundo Batista e Soares (1997), nos EUA, a queima controlada é utilizada com grande sucesso no controle da “mancha marrom” em povoamentos de *Pinus palustris*. No Brasil, essa técnica poderia ser usada na redução da infestação por fungos causadores de podridão de raízes, especialmente na região sul do país.

### 5.1.3 Regeneração de espécies florestais

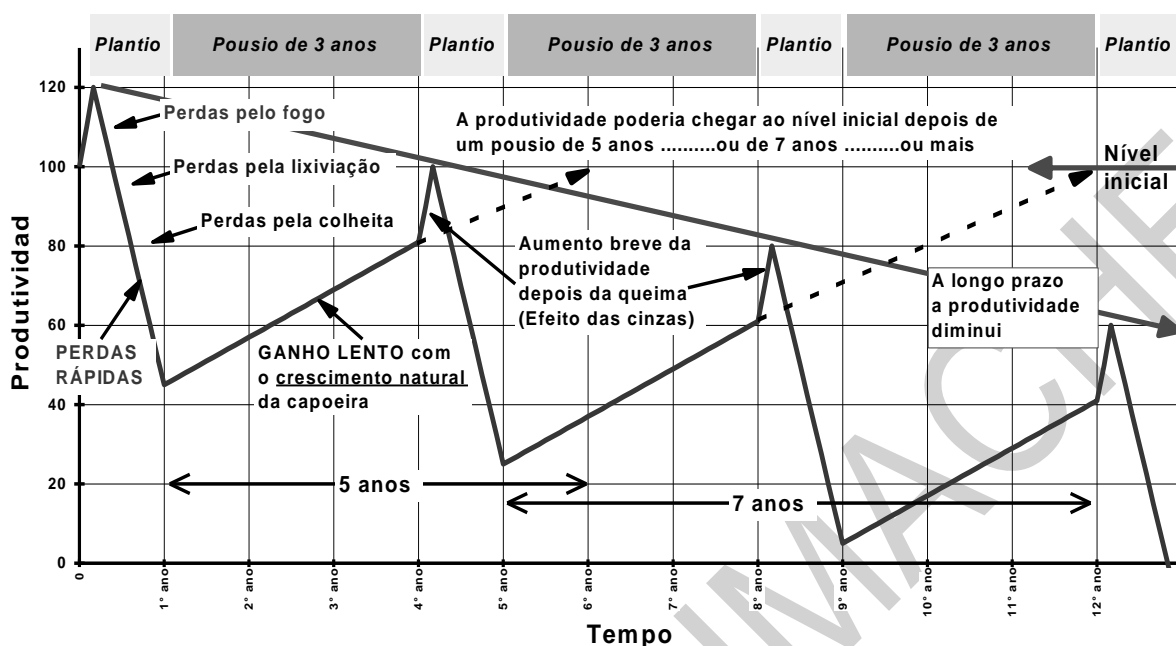
Algumas espécies florestais precisam do calor do fogo para aumentar o seu poder germinativo. Um exemplo disso é a bracatinga (*Mimosa scabrella*), na qual, pela passagem do fogo, suas sementes quebram a dormência e potencializam a germinação. Também os ecossistemas de cerrado dependem do fogo para sua sustentabilidade. Florestas de *Pinus* nos EUA e *Eucalyptus regnans* na Austrália dependem do fogo, as últimas para que seja eliminada a grande camada de serapilheira que se forma sobre o solo em florestas centenárias da espécie, a qual impede que a semente chegue até o solo em local suficientemente úmido para germinar.

### 5.1.4. Manejo de resíduos

Um fogo rápido ou leve pode ser usado no controle de capins, gramas, ervas daninhas, etc, trazendo benefícios imediatos pela eliminação de espécies competidoras com a cultura objetivo. O fogo bem controlado pode ser tecnicamente aplicável, tendo um baixo custo no processo de limpeza do terreno, ou seja, no manejo de resíduos em práticas silviculturais e de agricultura.

É interessante observar o uso do fogo no manejo de resíduos. Como se pode verificar na Figura 27, o fogo disponibiliza rapidamente nutrientes por meio das cinzas produzidas durante o incêndio; contudo, gradativamente, ao longo do tempo, ocorre a perda da fertilidade natural do solo, principalmente óxidos, K, Ca e Mg.

Figura 27 - Redução da fertilidade natural após sucessivos ciclos de queima utilizados na agricultura



Fonte: Adaptado de Vielhauer e Sá (2000).

### 5.1.5. Redução do material combustível

As florestas e mesmo plantações com espécies de rápido crescimento, como eucaliptos e pinus, tendem a acumular sobre o solo e no sub-bosque uma grande quantidade de material combustível. Utiliza-se como técnica na prevenção da propagação do fogo a redução desse material vegetal. O fogo controlado é, sem dúvida, um ótimo auxiliar para se reduzir o material combustível de uma floresta ou plantação, evitando e prevenindo maiores danos que, por certo, aconteceriam no caso de um incêndio acidental.

Ao se realizar a queima para reduzir o material combustível, não é necessário cobrir 100% da área. O objetivo principal é quebrar a continuidade do combustível; para tanto, em muitos casos, são alcançados os objetivos com 75 a 80 % da área. Geralmente, entre 50 a 90 % do material menor que 7,6 cm é consumido pelo fogo (BATISTA; SOARES, 1997).

Goldammer (1982) comenta que em povoamentos de pinus nos EUA, por exemplo, necessitam de incêndios naturais ou periódicos para sua preservação, sendo denominados “ecossistemas de fogo”. O combate a esses incêndios poderia acarretar o domínio do pinus por espécies de folhosas, ou ainda que o acúmulo de

material combustível se tornasse tão grande a ponto de facilitar, em condições extremamente secas, a ocorrência de incêndios de copa.

#### 5.1.6. Melhora de atributos do solo

Os solos são componentes importantes na sustentabilidade do ecossistema, porque suprem de ar e água nutrientes, e dão apoio mecânico às plantas. Durante o processo de aquecimento do solo, mudanças significativas podem ocorrer nos atributos físicos, químicos e biológicos, que são relevantes para a produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas florestais.

Um componente importante da matéria orgânica é o húmus, ou seja, a matéria orgânica coloidal do solo (partículas entre 0,001 e 0,005 mm de diâmetro), que se decompõe lentamente. O húmus age como uma cola biológica, que ajuda a manter as partículas minerais do solo, formando agregados. Isso contribui para a estrutura do solo, cria espaços porosos nele e fornece corredores para a circulação do ar e água (NEARY, FFOLLIOTT e LANDSBERG, 2005).

Dentro de certas condições, e em alguns casos especiais, o fogo controlado pode melhorar as condições físicas do solo ao queimar os depósitos de “húmus”, proporcionando melhor aeração e aquecimento do solo. Com isso, estimula-se também a atividade microbiana, favorecendo a nitrificação. O fogo faz com que a ciclagem de nutrientes seja acelerada, deixando os nutrientes disponíveis na forma de cinzas (Tabela 10), além de contribuir, também, para a eliminação da acidez do solo. Cabe salientar que, apesar de ocorrer uma aceleração no processo de ciclagem, ocorre ao mesmo tempo uma redução na quantidade de nutrientes presentes nas cinzas.

Tabela 10 - Quantidade de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na serapilheira, antes e após queimas controladas, em povoamentos de *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa* na região de Sacramento, MG

Local	Material	N	P	K	Ca	Mg
		(kg ha <sup>-1</sup> )				
<i>Pinus caribaea</i>	Serapilheira	149,1	4,4	10,3	24,5	6,4
	Cinzas	47,2	1,4	6,8	10,4	5,6
<i>Pinus oocarpa</i>	Serapilheira	75,3	4,1	13,3	54,6	5,4
	Cinzas	28,0	1,5	5,6	26,1	4,9

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

## 5.2 EFEITOS MALÉFICOS DOS INCÊNDIOS

Os incêndios florestais constituem uma permanente fonte de danos às florestas de todo o mundo. Anualmente, milhares de hectares de florestas são queimados, com prejuízos incalculáveis. De um modo geral, os danos causados às florestas podem ser classificados em: danos ao solo, capacidade produtiva da floresta, aspecto recreativo da floresta, fauna silvestre, vegetação, caráter protetor da floresta, ar atmosférico, propriedades diversas e vida humana. Cianciulli (1981), com a palavra “destruição”, descreve o efeito maléfico do fogo sobre todos aqueles benefícios, diretos ou indiretos, que a floresta subministra à humanidade, comprometendo com isso a preservação de um sadio meio ambiente, sem os malefícios da poluição.

### 5.2.1 Danos ao solo

Os incêndios florestais geralmente causam grandes danos ao solo, principalmente nas suas características físicas. A destruição da cobertura orgânica do solo, expondo-o diretamente às intempéries, provoca grandes modificações em suas propriedades físicas, particularmente porosidade e permeabilidade. Os solos argilosos tornam-se duros, dificultando a penetração da água, que escorre em forma de enxurrada sobre a superfície, provocando erosão e a degradação desse valioso recurso. Os solos arenosos tornam-se extremamente friáveis, perdem o poder de retenção de água e são facilmente carregados pelas chuvas e, até mesmo sob certas condições, pelo vento.

Durante a chuva, quando a capacidade de infiltração do solo é ultrapassada, partículas orgânicas e inorgânicas do solo são erodidas, e tornam-se uma importante fonte de sedimentos, nutrientes e poluentes, que acabam em córregos, afetando a qualidade da água (NEARY, FFOLLIOTT e LANDSBERG, 2005).

Os danos também se estendem à química e à microbiologia do solo, uma vez que, boa parte dos nutrientes contidos nos restos vegetais é volatilizada pelo fogo, que também destrói grande parte dos organismos. Devemos ressaltar que os danos ao solo são particularmente mais severos, de acordo com a intensidade e frequência dos incêndios. Incêndios extremamente severos causam a completa destruição de toda a cobertura vegetal, expondo totalmente o solo. Se o incêndio ocorre com



frequência em determinada área, mesmo não sendo muito intenso, ele não permitirá o acúmulo de matéria orgânica (sendo periodicamente destruída), expondo, portanto, o solo permanentemente à ação dos agentes causadores de erosão.

Com a passagem do fogo, ocorre a eliminação da cobertura orgânica do solo, deixando-o completamente exposto à ação de intempéries, tornando-se suscetível à erosão. Paralelamente a esses danos citados, o incêndio atua também sobre a microbiologia do solo, afetando-a seriamente.

A estrutura do solo pode ser facilmente afetada pelo fogo por duas razões: em primeiro lugar, a matéria orgânica no perfil do solo está concentrada na superfície, onde está diretamente exposta ao aquecimento por radiação, produzida durante a combustão dos materiais combustíveis acima do solo. Em segundo lugar, o valor limite para mudanças irreversíveis na matéria orgânica é baixo. A morte dos microorganismos pode ser ocasionada por temperaturas relativamente baixas (50 - 60 °C). A matéria orgânica começa a ser atingida com temperaturas de 200 °C, e está completamente perdida quando a temperatura chega a 400 °C (DEBANO; NEARY; FFOLLIOTT, 2005). Os mesmos autores descrevem o seguinte cenário durante a destruição da estrutura do solo: a) a estrutura do solo entra em colapso e ocorre um aumento na sua densidade, devido à destruição da matéria orgânica que servia como um agente de ligação entre as partículas do solo; b) o colapso da estrutura do solo reduz a sua porosidade (macroporos principalmente); c) a superfície do solo passa a ser compactada com maior severidade por pingos de chuva, quando as suas partículas e as cinzas são deslocadas, e os poros da superfície do solo tornam-se parcialmente ou totalmente fechados; d) finalmente, a superfície do solo fica impenetrável, reduzindo drasticamente as taxas de infiltração, produzindo um rápido escoamento e a erosão da área.

Durante e depois do fogo, ocorrem perdas de nutrientes associadas principalmente a processos químicos. No Quadro 6, Knoepp, Debano e Neary (2005) cita diversos autores que relatam os meios pelos quais ocorre a disponibilização dos nutrientes contidos na biomassa vegetal e matéria orgânica do solo durante e após o fogo.

Quadro 6 - Meios de disponibilização de nutrientes durante e após o fogo

<b>DeBell e Ralston, 1970</b>	Durante o um incêndio, ocorre a volatilização direta de gases para a atmosfera. O nitrogênio pode ser transformado em N <sub>2</sub> , juntamente com outros gases nitrogenados.
<b>Clayton, 1976 Raison et al., 1985</b>	As partículas são perdidas pela fumaça. Fósforo e cátions são frequentemente perdidos para a atmosfera durante a combustão
<b>Christensen, 1973 Grier, 1975 Kauffman et al., 1993</b>	Nutrientes permanecem nas cinzas depositadas sobre a superfície do solo. Esses nutrientes, altamente disponíveis, são vulneráveis à lixiviação pós fogo ou à erosão eólica
<b>DeBano e Conrad, 1976 Raison et al., 1993</b>	As perdas dos nutrientes contidos na camada de cinzas podem ser agravadas pela formação de uma camada repelente de água, criada no solo durante o fogo.
<b>Boerner, 1982</b>	Alguns dos nutrientes permanecem em estado estável. Nutrientes podem permanecer no local como parte da vegetação que não foi completamente consumida pelo fogo.

Fonte: Adaptado de Knoepp, DeBano e Neary (2005).

Os microorganismos presentes no solo são os mais diversos, e interagem de diferentes formas e com diferentes complexidades. Alguns organismos meramente tentam sobreviver, e outros são responsáveis por reações bioquímicas muito complexas. Inúmeros fatores determinam como os microorganismos vão responder ao fogo, entre elas, a intensidade do fogo, características do local e características da comunidade presente. Algumas generalizações podem ser feitas: a) a maioria dos estudos tem verificado forte resistência ao fogo por comunidades microbianas. A recolonização aos níveis anteriores ao fogo é comum, com o tempo necessário para essa recuperação proporcional à severidade do fogo; b) o efeito do fogo é maior no piso da floresta (serapilheira e húmus) (BUSSE; DEBANO, 2005).

### 5.2.2 Capacidade produtiva da floresta ou povoamento

O fogo interfere tanto na qualidade, quanto na quantidade da produção madeireira das florestas e povoamentos, com espécies de rápido crescimento. Os danos à capacidade produtiva das florestas podem ser caracterizados por três partes principais: 1) o fogo pode mudar completamente o tipo de floresta, causando geralmente, o enfraquecimento da mesma, pois quase sempre as madeiras valiosas são as mais atacadas e de difícil regeneração. O fogo, de uma maneira geral,

favorece a vegetação herbácea e as matas secundárias; 2) redução da densidade da floresta, sendo que a maioria dos incêndios não chega a destruir todo o povoamento, porém, provocam um raleamento da floresta, prejudicando a produção qualitativa e quantitativa; 3) alteração do princípio da sustentabilidade, por forçar o corte de árvores ainda imaturas, diminuindo o rendimento da floresta. Princípio da sustentabilidade é o termo utilizado para definir um rendimento anual, sustentado em longo prazo.

Para melhor evidenciar o fato, citamos o caso de uma empresa madeireira com autossuficiência em matéria prima. Pelo planejamento feito, estima-se a quantidade de madeira necessária anualmente para o suprimento da empresa, sendo que, a ocorrência de um incêndio altera todo o cronograma, por forçar o corte de áreas que ainda não estão em condições ideais, para que não ocorra perda de madeiras, podendo causar falta de madeira em anos futuros.

### **5.2.3 Aspecto recreativo da floresta**

Em muitos países, as florestas são utilizadas como um local de recreação, onde as populações urbanas vão passar os fins de semana ou feriados, fugindo da vida agitada das cidades. As florestas usadas para essa finalidade apresentam um bonito aspecto paisagístico, e um incêndio tornaria esse aspecto sombrio e desolador. A floresta perde, então, o seu aspecto recreativo.

### **5.2.4 Fauna silvestre**

Os principais impactos ocasionados pelo fogo são as alterações nos padrões da paisagem e nos processos e relações funcionais. Essas alterações podem afetar o habitat dos animais, e ocasionar mudanças na composição das comunidades faunísticas. As mudanças ocasionadas pelo fogo no habitat afetam muito mais profundamente a população e comunidades faunísticas do que a ação direta do incêndio. Incêndios causam frequentemente, em curto prazo, um aumento em produtividade pela disponibilidade de nutrientes para a forragem. Essas alterações podem contribuir para um substancial aumento das populações de herbívoros, e dos predadores associados, que encontram presas expostas em abundância (BROWN; SMITH, 2000).

Os incêndios podem causar danos diretos ou indiretos à fauna das florestas. Os efeitos diretos nos animais dependem de sua mobilidade, e da ocorrência de abrigos protegidos. Os efeitos adversos são maiores nos animais jovens e ovos, e provêm principalmente do calor, fumaça com gases tóxicos e falta de oxigênio.

O fogo pode matar os animais e aves silvestres indiretamente, destruindo seus ninhos, abrigos (habitats naturais) e fontes de comida. A intensidade e tipo de dano dependem das características e épocas do incêndio. Geralmente, incêndios ocorridos na primavera são particularmente mais danosos pela destruição de ninhos e animais novos.

Outras grandes vítimas são os predadores de topo de cadeia e animais territoriais. Os danos diretos ocorrem através da morte de animais que não conseguem escapar do fogo. A adaptação de espécies envolve aumento do tamanho, aumento da capacidade de colonização e da reprodução/colonização de áreas novas.

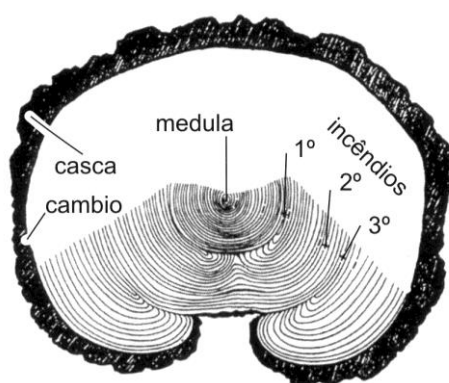
### **5.2.5 Vegetação**

A resposta das plantas ao fogo é o resultado da interação entre a gravidade do incêndio e as características de resistência de cada planta. O fogo pode causar mudanças drásticas e imediatas na vegetação, eliminando algumas espécies ou causando o aparecimento de outras, que não estavam presentes antes do incêndio. O dano de um incêndio à vegetação depende da intensidade do fogo, tempo de duração, espécie e idade das árvores. Geralmente, árvores de médio e grande porte não são mortas pelo fogo, porém, mudas e plantas de pequeno porte sofrem danos letais, na maioria dos casos, principalmente, se o solo e o combustível estiverem secos. As árvores jovens são mais sensíveis, pelo aquecimento ser diretamente proporcional ao conteúdo de umidade da casca, e inversamente proporcional à espessura da casca (MILLER, 2000).

São os incêndios de copa que causam os maiores danos à vegetação. Esses incêndios se originam do crescimento de incêndios superficiais, durante condições climáticas adversas, em áreas de alta concentração de combustível; devido às suas altas intensidades, podem destruir florestas de árvores adultas e, inclusive, resistentes ao fogo.

O fogo, quando não causa a morte das árvores, provoca a debilidade das mesmas, pelas cicatrizes que deixa (Figura 28). Ambos os casos favorecem o ataque de insetos e pragas que, encontrando as árvores sem capacidade de reação, facilmente se instalarão e se multiplicarão, causando grande destruição à madeira remanescente do incêndio. Por essa razão, sempre que ocorrer um incêndio de grandes proporções, devemos ficar alertas a fim de evitarmos a propagação de insetos e pragas, que por ventura venham a se instalar após o fogo.

Figura 28 - Exemplo de múltiplas cicatrizes provocadas por incêndios florestais no tronco de uma árvore



Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

O que efetivamente danifica ou mata uma árvore durante um incêndio é a elevação da temperatura das células vivas a um nível letal (**temperatura letal**), especialmente em locais críticos, como a base do tronco e a folhagem. A morte do câmbio na base do tronco, quando submetido a altas temperaturas, é uma das principais causas da mortalidade das árvores em incêndios florestais. As temperaturas letais dos tecidos vivos das árvores têm sido estudadas por vários pesquisadores.

Na maioria das vezes, os resultados desses estudos podem ser representados através de uma curva semilogarítmica do seguinte tipo (SOARES; BATISTA, 2007):

$$T = a - b \cdot \ln t \quad . \quad (12)$$

Sendo:

T = temperatura letal;

a e b = constantes;

$\ln$  = logaritmo natural;

$t$  = tempo de exposição

A equação 12 indica que a temperatura letal é inversamente proporcional ao logaritmo do tempo de exposição àquela temperatura. Ambos, temperatura e tempo de exposição, portanto, são importantes.

As células da maioria dos vegetais morrem se forem aquecidas a temperaturas entre 50-55 °C. A maneira como os tecidos da planta suportam o calor depende do tempo de exposição. A morte pode ocorrer em altas temperaturas, após um curto período, ou em temperaturas mais baixas, com uma exposição mais longa. Além disso, alguns tecidos vegetais, principalmente meristemáticos, tendem a ser muito sensíveis ao calor quando estão crescendo ativamente, uma vez que seu tecido possui alta umidade. A concentração de outros compostos, que variam sazonalmente, tais como os sais, açúcares e ligninas, podem também ser relacionados com a tolerância das plantas ao calor (MILLER, 2000).

A tolerância ao calor de quatro espécies florestais (*Pinus elliottii*, *Pinus palustris*, *Pinus rigida* e *Pinus taeda*) foi determinada submetendo-se suas folhagens a diferentes temperaturas e tempos de exposição, através do método de banho-maria. Os resultados mostraram não haver diferença significativa entre as espécies. A 54 °C, a morte da folhagem ocorreu após cerca de 6 minutos de exposição; a 60 °C, após meio minuto; e a 64 °C, quase instantaneamente (NELSON, 1952).

Com relação ao câmbio, trabalhos realizados por Kayll (1963) demonstram que temperaturas de 60 °C durante 2 a 4 minutos, ou 65 °C em menos de 2 minutos, são letais. Isso indica que os tecidos vivos, de diferentes espécies, apresentam praticamente o mesmo nível de resistência ao calor. Entretanto, para chegar ao câmbio, o calor tem que atravessar a casca da árvore.

#### **5.2.6 Caráter protetor da floresta**

A floresta ou mesmo o plantio de espécies arbóreas constitui um agente protetor de grande importância, exercendo proteção básica contra deslizamentos, avalanches, invasão de dunas e erosão. Ao ser destruída ou danificada pelo fogo, fatalmente essa capacidade protetora será prejudicada, com maior ou menor intensidade, dependendo da severidade e frequência dos incêndios.

A floresta atua também como reguladora do regime hidrológico. O solo florestal coberto pela serapilheira facilita a infiltração da água das chuvas. O fogo destruindo essa proteção, a água das chuvas vai escorrer pela superfície, causando inundações, deslizamentos, erosões, etc.

Os incêndios podem afetar o ciclo da água e outros processos em maior ou menor escala, dependendo de sua intensidade. O Quadro 7 contém um resumo geral desses efeitos. Os incêndios podem produzir alguns efeitos importantes sobre o regime de vazão de pequenos córregos e rios. Após incêndios, os fluxos de água podem aumentar drasticamente, afetando severamente os habitats aquáticos, a biota aquática, a saúde e a segurança humana (NEARY et al., 2005).

Quadro 7 - Resumo das alterações em processos hidrológicos produzidos por incêndios

<b>Processo Hidrológico</b>	<b>Tipo de mudança</b>	<b>Efeito específico</b>
Interceptação	Redução	Menor armazenamento de umidade Maior escoamento em pequenas chuvas Maior produção de água
Armazenamento de água na serapilheira	Redução	Menor armazenamento de água Maior escoamento superficial
Transpiração	Eliminação Temporária	Aumento da vazão Aumento na umidade do solo
Infiltração	Redução	Aumento do escoamento superficial

Fonte: Adaptado de Neary et al. (2005).

Os principais impactos na qualidade da água são: a introdução de sedimentos; o aumento potencial de nitrato; eventual introdução de metais pesados; introdução de produtos químicos (uso de retardantes) em rios, podendo chegar a níveis tóxicos para os organismos aquáticos. A magnitude dos efeitos do fogo sobre a qualidade da água é impulsionada, principalmente, pela severidade do incêndio (NEARY et al., 2005).

### 5.2.7 Ar atmosférico

A combustão completa do combustível florestal libera calor, água (vapor) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Quando ocorre um incêndio florestal, além da água e do

CO<sub>2</sub>, vários outros elementos são lançados na atmosfera, como, por exemplo, monóxido de carbono e hidrocarbonos. Pequenas quantidades de óxido de nitrogênio são também liberadas em alguns incêndios de maior intensidade. Entretanto, nos incêndios florestais, não há produção de óxidos de enxofre, altamente poluidores, porque o conteúdo de enxofre na madeira é insignificante (SOARES; BATISTA, 2007).

Para se avaliar a importância de diversas fontes de poluição ambiental é importante analisar a composição das emissões. Cerca de 90% dos produtos da combustão do material florestal são CO<sub>2</sub> e água. O maior impacto dos incêndios florestais sobre a qualidade do ar provém dos outros 10%, principalmente partículas e hidrocarbonos. Por outro lado, a fumaça dos automóveis, por exemplo, contém porcentagens muito mais altas de elementos venenosos, tais como monóxido de carbono, óxidos de enxofre e compostos de chumbo.

Provavelmente, o mais importante elemento individual das emissões dos incêndios seja a fração de partículas em suspensão na fumaça. Essas partículas, sólidas ou líquidas, são constituídas por uma complexa mistura de fuligem, alcatrão e substância orgânicas voláteis, geralmente microscópicas, com dimensões entre 0,001 a 10 micra. Embora existam evidências de que as partículas sejam posteriormente lavadas da atmosfera pelas chuvas, ou se precipitem pela ação dos ventos e da gravidade, a fumaça visível que elas geram é frequentemente uma fonte de problemas.

As partículas são a maior causa da redução da visibilidade, às vezes em áreas críticas, como aeroportos, rodovias e cidades, além de servirem de superfície de absorção de gases nocivos, que podem estar presentes na atmosfera. As partículas finas, especialmente as menores de 3 micra, podem afetar as condições respiratórias de pessoas sensíveis, especialmente quando combinadas com gases tóxicos. O monóxido de carbono é o mais abundante dos poluentes produzidos pelos incêndios florestais. Medições realizadas durante a ocorrência de incêndios têm mostrado valores de 50 a 200 ppm, próximo às chamas. A concentração média de 60 ppm, registrada à margem do fogo, decresce rapidamente para cerca de 10 ppm a 30 m de distância da zona de combustão. Esses valores são relativamente baixos, quando comparados com a média de 200 ppm registrada em túneis de rodovias, onde a produção é constante. As avaliações da quantidade de hidrocarbonos, produzidos em um incêndio florestal, mostram valores entre 5 e 20 kg por tonelada



de combustível consumido, relativamente baixos, quando comparados aos 65 kg produzidos por tonelada de gasolina queimada.

A fumaça originada das queimas controladas pode causar problemas de poluição do ar, embora muito menos graves que os causados pelas indústrias. No entanto, aplicando-se princípios básicos de meteorologia no manejo da fumaça, pode-se usar cientificamente o fogo para se alcançar certos objetivos sem poluir o ambiente (SOARES; BATISTA, 2007).

A visibilidade atmosférica é afetada pela absorção de luz, pelas partículas e gases lançados para a atmosfera. Essas partículas e gases presentes no ar podem interferir na capacidade de reconhecermos com clareza determinados objetos, suas cores, textura e forma. As principais partículas responsáveis pela diminuição da visibilidade são os sulfatos, nitratos, compostos orgânicos, carbono elementar (fuligem) e a poeira do solo. Sulfatos, nitratos, carbono orgânico e a poeira do solo atuam na dispersão da luz, enquanto o carbono elementar tende a absorver a luz. As partículas finas são mais eficientes nessa dispersão do que as partículas mais grosseiras, causando maior prejuízo na visibilidade. A preocupação com as questões ligadas à qualidade do ar, força as autoridades a realizar monitoramentos e estabelecer regras e padrões a serem seguidos pelos usuários de queimadas controladas (SANDBERG et al., 2002).

#### **5.2.8 Propriedades diversas**

Além dos danos diretos provocados nas florestas nativas e nas plantações comerciais pela destruição da madeira, os incêndios podem também causar danos a outras propriedades, tais como casas, construções, veículos, máquinas e implementos, etc.

No grande incêndio ocorrido no estado do Paraná em 1963, estimativas da época relatam que 128 cidades das regiões Norte, Central e dos Campos Gerais sofreram danos. Foram mais de dois milhões de hectares atingidos. Desse total, 20.000 ha, 500.000 ha e 1.500.000 ha constituíam plantações, florestas nativas e campos e matas secundárias, respectivamente.

Sandberg et al. (2002) relaciona como efeitos da fumaça originada de incêndios florestais a perda de visibilidade e a deposição de fuligem, que podem ser consideradas como uma perturbação da ordem pública. Essas consequências do

fogo entram em conflito com o interesse da sociedade na manutenção do ar limpo, e remetem aos técnicos responsáveis pela gerência de queimas controladas o conhecimento desses e outros efeitos do fogo.

### **5.2.9 Vida humana**

Os incêndios de grandes proporções, além de destruírem as florestas e outros bens materiais, algumas vezes provocam também ferimentos ou mesmo a morte de seres humanos. No ano de 1963, no estado do Paraná, 110 pessoas morreram e mais de 1000 ficaram feridas em consequência do grande incêndio ocorrido. Em 1932, na Austrália, um incêndio provocou a morte de 71 pessoas e feriu outras dezenas. Como informação, uma das maiores catástrofes causadas por um incêndio florestal, ocorrido em Wisconsin (EUA) no ano de 1971, levou à morte de aproximadamente 1500 pessoas.

Em 1996, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos realizou uma extensa revisão sobre os efeitos das partículas lançadas por incêndios na atmosfera. Esse estudo identificou a presença de partículas produzidas em incêndios, nocivas à saúde humana, em diversas cidades americanas. As partículas finas, ou seja, com diâmetro menor que 2,5 micrômetros, são apontadas como as principais causadoras de problemas relacionados ao sistema respiratório (SANDBERG et al., 2002).

## **6 QUEIMA CONTROLADA**

Processo em que se aplica fogo controlado na vegetação nativa ou plantações comerciais, sob determinadas condições ambientais, que permitam ao fogo manter-se restrito em uma determinada área e, ao mesmo tempo, produzir uma intensidade de calor e velocidade de espalhamento desejáveis aos objetivos de manejo.

O conhecimento de como se dá a resposta das plantas ao fogo pode ser crítico para aplicação bem sucedida da queima controlada. O uso do fogo requer o conhecimento dos fatores que determinam seu próprio comportamento, assim como, dos mecanismos de sobrevivência das espécies, dos mecanismos de sobrevivência da fauna e os métodos de recuperação da vegetação após o fogo. Uma prescrição de queima controlada deve discriminar as condições de umidade, o tempo

aproximado de queima, e a quantidade de material combustível (em suas diferentes classes). Se a queima for devidamente conduzida, será possível estabelecer previsões de como o fogo se comportará e a magnitude dos impactos sobre o ecossistema. No Link <<http://www.invasive.org/weedcd/html/feis.htm>>, está disponível um banco de dados que contém informações específicas sobre o efeito do fogo e as respostas das plantas para 900 espécies de vegetais dos Estados Unidos e do Canadá (MILLER, 2000).

## 6.1 QUEIMADAS CONTROLADAS E SEUS USOS

As queimas prescritas e a silvicultura podem andar de mãos dadas rumo à restauração de povoamentos florestais e ecossistemas. Pode-se considerar a utilização de queimas controladas como uma técnica silvicultural para alcançar os objetivos de produção de madeira (BROWN; SMITH, 2000).

O uso do fogo controlado, na redução do material combustível, poderá ser feito tanto dentro como fora da floresta. Esse método tem a vantagem de ser mais barato e mais eficiente que outros na redução do material.

O preparo do terreno, realizado através da queima controlada, é relativamente barato, sendo mais aplicado para terrenos montanhosos, de difícil acesso para máquinas. O uso do fogo controlado, também poderá ser útil na indução da germinação das sementes do banco no solo superficial e serapilheira, como o que acontece nos bracatingais (*Mimosa scabrella*) e espécies do cerrado.

O controle de espécies indesejáveis em florestas poderá ser realizado com mais vantagem em coníferas que em relação às folhosas, uma vez que as primeiras apresentam melhor resistência à passagem do fogo, sofrendo, conseqüentemente, menores ou nenhum dano significativo. Conforme Brown e Smith (2000), em locais onde passou o fogo, podem-se criar condições favoráveis ao estabelecimento de espécies invasoras e ou exóticas. Nessas áreas, onde a infestação chega a níveis indesejáveis, pode-se utilizar a queima controlada para a reversão desse cenário. A melhoria do habitat para a fauna silvestre poderá ser conseguida através do uso do fogo controlado, para a redução do acúmulo de serapilheira, o que, em alguns casos, poderá atuar como inibidora de uma melhor regeneração de plantas jovens, as quais são alimento para os herbívoros, base da cadeia alimentar. Essa prática,

porém, não deverá ser usada na época de procriação da fauna, geralmente na primavera.

De acordo com Soares (1985), o uso do fogo controlado no controle de parasitas e doenças, apesar de às vezes indicado, é um aspecto polêmico, pois, se por um lado, elimina alguns parasitas, por outro, poderá abrir caminho para outras espécies maléficas, através da destruição de seus inimigos naturais.

## 6.2 TÉCNICAS DE QUEIMA

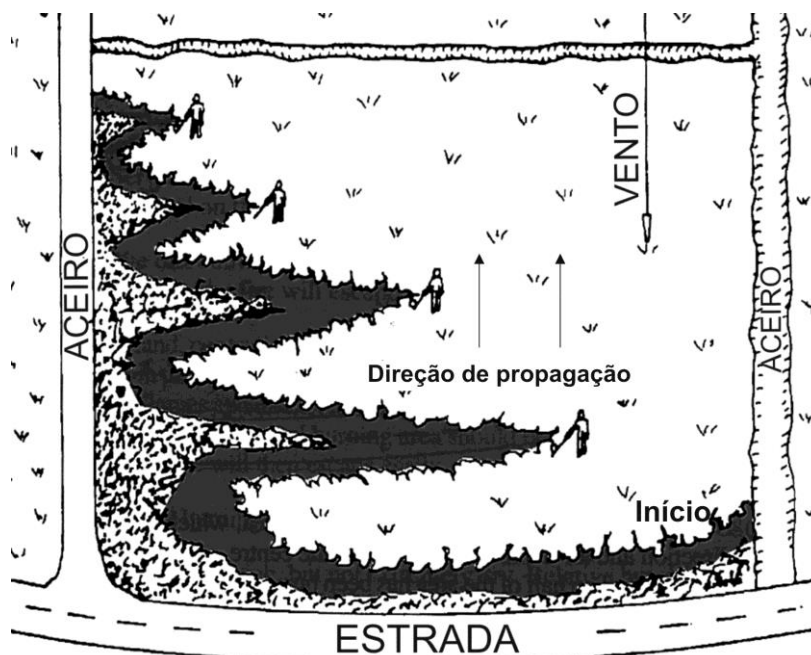
Existem diversas formas de queima controlada, que podem ser utilizadas com vantagens sobre o uso tradicional. Conhecendo bem cada uma delas, poderá ser decidido qual a que melhor se enquadra ao terreno.

Os objetivos da queima, a quantidade e tipo de material combustível e os fatores climáticos devem estar correlacionados com a técnica adequada de queima, para se evitar eventuais danos aos recursos florestais ou ambientais. Nesse sentido, é de suma importância que as condições atmosféricas estejam favoráveis, para dissipar a fumaça nas camadas superiores do ar, afastando-as de áreas como estradas e cidades (SOARES; BATISTA, 2007).

### 6.2.1 Queima contra o vento

Ribeiro (2002) considera essa técnica de queima básica. Segundo Goldammer (1982), o fogo contra o vento é a técnica mais importante usada em povoamentos de pinus. Para sua utilização, necessita-se de uma pequena barreira (aceiro, estrada, rio, etc.), a partir de onde se iniciará o fogo (Figura 29). Dessa forma, o fogo contra o vento não consegue se propagar com facilidade. O vento força as chamas para baixo, impedindo-as de atingir as copas das árvores, por exemplo.

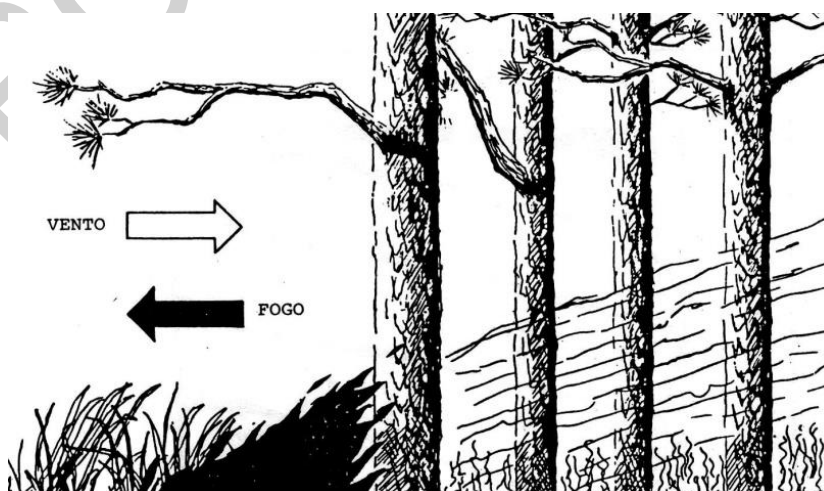
Figura 29 - Utilização da queima contra o vento (sem aceiros internos)



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Outro aspecto que garante a lenta propagação do fogo é a inexistência do pré-aquecimento do material combustível, disposto na frente do fogo (Figura 30). Para não se perder muito tempo, devido à pequena velocidade de propagação, normalmente, utilizam-se várias linhas de fogo.

Figura 30 - Comportamento do fogo contra o vento



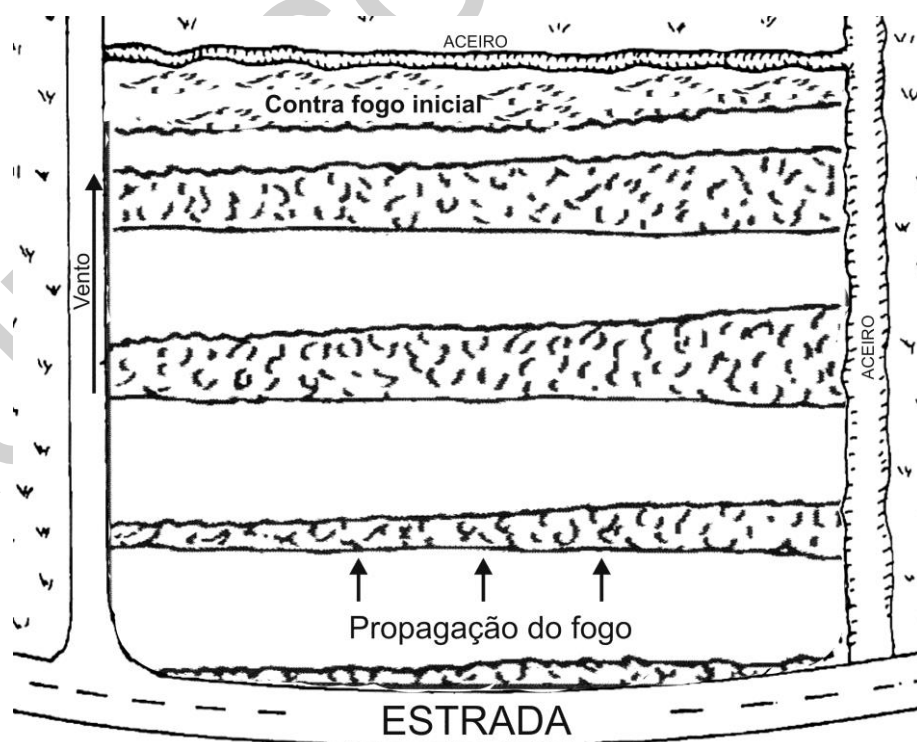
Fonte: Adaptado de Goldammer (1982).

Soares e Batista (2007) apontam algumas desvantagens no uso da queima contra o vento: a) tempo consumido; b) necessidade da construção de aceiros dentro da área, normalmente a intervalos de 50 a 200 m; c) existência de ventos constantes (6 a 16 km h<sup>-1</sup>); d) custo mais alto que as demais técnicas; e) inflexibilidade, pois só permite a queima na direção perpendicular à direção do vento.

### 6.2.2 Queima em faixas a favor do vento

Para utilização desse tipo de queima, coloca-se uma ou algumas linhas de fogo, de tal forma que elas não desenvolvam alta intensidade antes de se encontrarem ou de serem impedidas pelos aceiros ou barreiras naturais (Figura 31). A distância entre as linhas pode variar de 20 a 60 m. E quando ocorrer interferência do vento, do terreno ou da quantidade de material combustível, poderá ser realizada uma compensação na direção do fogo, a partir de uma angulação na faixa de fogo (SOARES; BATISTA, 2007).

Figura 31 - Método de queima em faixas a favor do vento



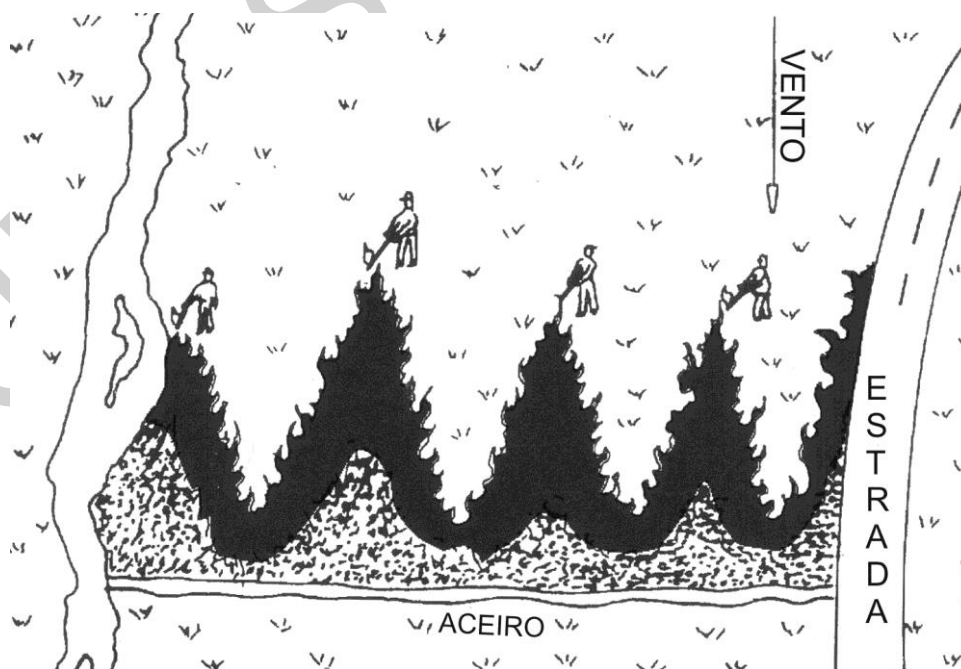
Fonte: Adaptado de Soares e Batista, (2007).

Nessa técnica, o fogo desenvolve uma intensidade e velocidade de propagação maior do que um fogo contra o vento. Deve ser observado o espaço entre o fogo e as copas, devido ao pré-aquecimento resultante das chamas. Em povoamentos mais velhos, onde já se efetuaram podas, as copas iniciam a aproximadamente 8 a 10 m, não ocorrendo grandes riscos. Deve-se ainda observar o lançamento de fagulhas, que podem originar novos focos (GOLDAMMER, 1982).

### 6.2.3 Queima de flancos

Essa forma de queima proporciona o uso do fogo a favor do vento, contudo, com um menor risco. São dispostas transversalmente ao vento várias faixas de fogo, proporcionando o desenvolvimento em baixas intensidades, visto que ocorre o confronto com o fogo contra o vento da faixa disposta paralelamente, funcionando assim, como um autocontrole na propagação do fogo (Figura 32). Além de ser uma queima rápida e sem tantos aceiros, ela permite trabalhar com a umidade do ar e do material combustível relativamente alta e sem a presença de ventos muito intensos ( $3 \text{ a } 8 \text{ km h}^{-1}$ ) (GOLDAMMER, 1982).

Figura 32 - Método de queima de flancos



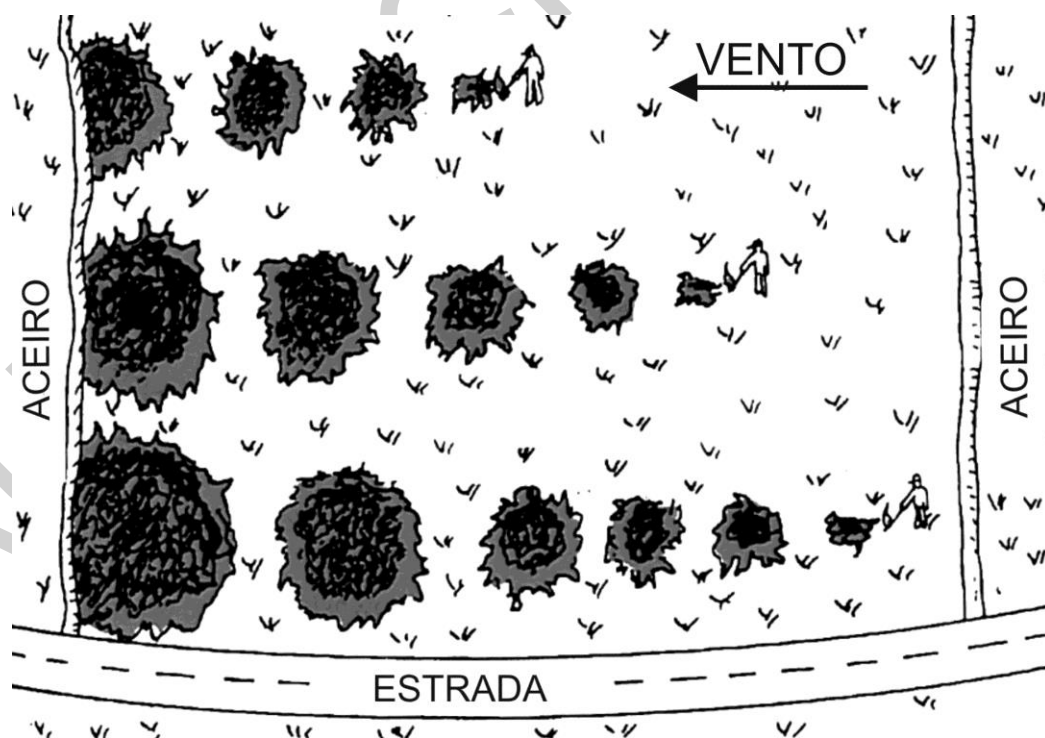
Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

Soares e Batista (2007) destacam a importância do uso de pessoal treinado, para que os objetivos sejam alcançados sem maiores riscos. Nesse tipo de queima, há forte tendência de turbulência no encontro lateral das chamas, aumentando o perigo de crestamento.

#### 6.2.4 Queima em manchas ou pontos

Esse método deve ser utilizado por pessoal experiente, ou seja, com conhecimento sobre o comportamento do fogo. A queima em manchas pode ser empregada com ventos leves e alternados (GOLDAMMER, 1982). Conforme Soares e Batista (2007), os pontos de fogo devem ser colocados de 40 a 100 m de distância um do outro, evitando a ocorrência de muitas frentes de fogo, que quando se encontram, ocasionam o aumento da intensidade do fogo (Figura 33). Com essa técnica, é possível queimar grandes áreas em um curto espaço de tempo, utilizando-se a ignição aérea, por exemplo.

Figura 33 - Método de queima em manchas ou pontos



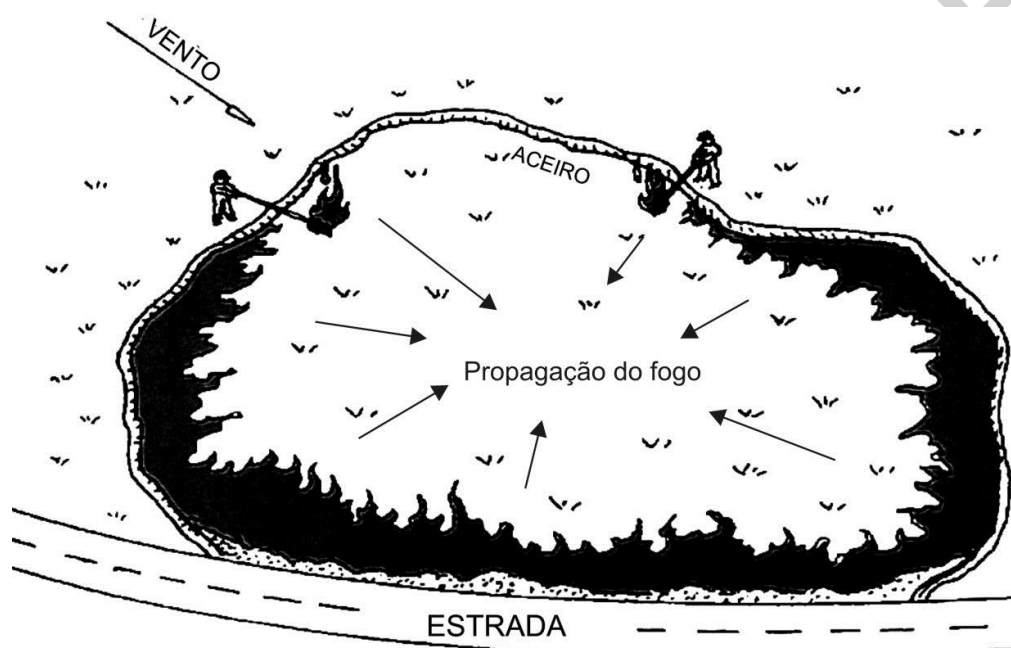
Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).



### 6.2.5 Queima em forma de anel

Neste processo, o fogo é aceso em forma circular, ao redor da área a ser queimada (Figura 34). Para se reforçar a propagação em direção ao centro da área, pode-se colocar fogo em vários pontos centrais (apenas se o vento for brando).

Figura 34 - Método de queima em forma de anel



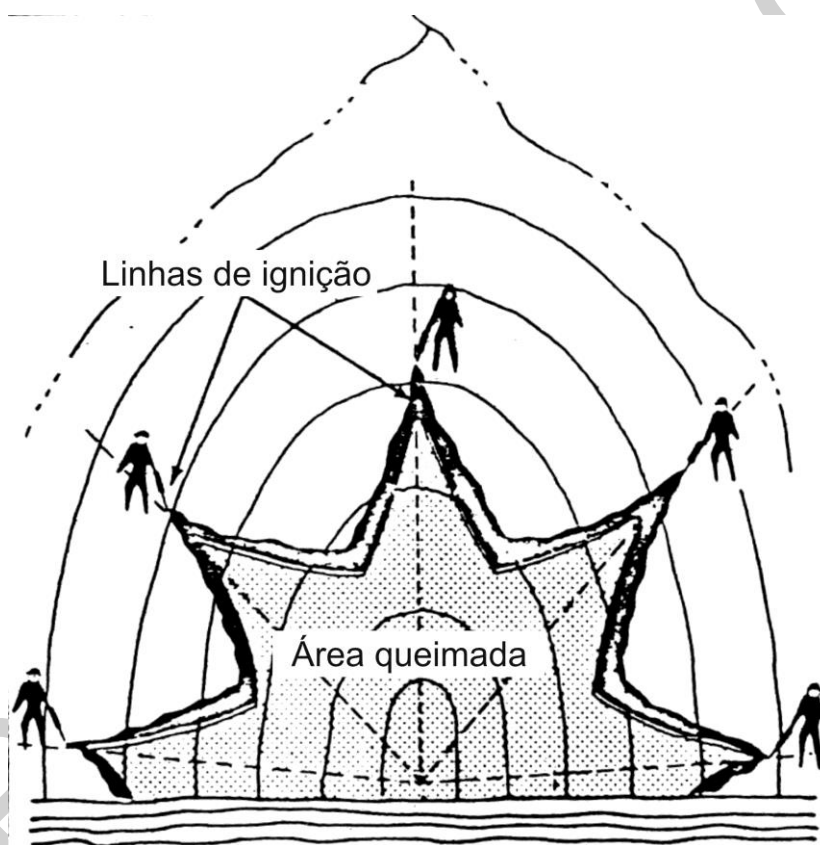
Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Esse método é utilizado onde se necessita de um fogo relativamente quente para eliminar restos de derrubada. A corrente de ar convecional, que se forma no centro da área, puxa a fumaça para cima, em forma de coluna (GOLDAMMER, 1982). Soares e Batista (2007) recomendam o cuidado com a possibilidade de lançamento de fagulhas a longas distâncias, devido à forte coluna de convecção central. Essa mesma coluna de convecção de ar facilita o trabalho do pessoal ao redor da área, visto que o fogo se propaga lentamente na direção dos limites externos da área.

### 6.2.6 Queima em forma de estrela ou “V”

Indicada para uso em áreas acidentadas, sua aplicação deve ser feita sempre do topo para a base da montanha, morro, etc. As linhas de fogo devem ser iniciadas simultaneamente, a partir de um único ponto no topo, e distribuídas de forma radial no sentido do declive (Figura 35). Essa técnica apresenta as mesmas vantagens e desvantagens do método de queima em flancos (SOARES; BATISTA, 2007).

Figura 35 - Método de queima em forma de estrela ou queima em “V”



Adaptado de Goldammer (1982).

### 6.3 APLICAÇÃO DA QUEIMA CONTROLADA

Para realizar uma queima controlada ou prescrita, é fundamental estar atento às seguintes recomendações: a) todo tipo de queima requer um estudo prévio para conhecimento das condições ideais para a sua realização; b) deve-se verificar com atenção os seguintes itens: época de maior risco ou perigo de incêndio; tamanho e condições da área a ser queimada; tipo de vegetação (baixa, média, alta (Ex:

campo, floresta, lavoura, etc)); objetivo da queima; temperatura local (no momento em que se planeja realizar a queima); umidade do ar no período; quantidade de combustível existente; hábito da fauna silvestre; pessoal disponível (para realizar a queimada e controlar o fogo); c) para evitar perigos futuros, é imprescindível queimar ou remover, antecipadamente, as acumulações de materiais combustíveis (lenhosos) na linha de controle do fogo; d) não abandonar, em hipótese alguma, a área incendiada até a completa extinção do fogo.

É tecnicamente recomendada a realização da queima controlada no período do outono ou inverno, uma vez que os tecidos dos vegetais encontram-se em estado de dormência nessa época. Caso haja a necessidade de maior intensidade de fogo, a queima poderá ser realizada no verão; porém, nesse caso, os cuidados a serem tomados para evitar a perda de controle do fogo devem ser maiores, em virtude da temperatura do ar ser mais alta, e possivelmente a umidade do ar e do material combustível ser menor. A realização de queima controlada na primavera é desaconselhada, em virtude da intensa atividade vegetativa em que se encontram os vegetais nesse período, pois a passagem do fogo poderia causar danos irreversíveis (SOARES; BATISTA, 2007). Segundo os mesmos autores, pode-se considerar como condições favoráveis para a queima: ventos entre 5 e 15 km h<sup>-1</sup> com direção constante, umidade relativa entre 50 e 60 % e temperatura do ar amena, entre 15 e 25 °C. Normalmente, essas condições ocorrem pela manhã e no final da tarde.

Na pesquisa realizada em povoamentos de *Pinus taeda*, nos EUA (Tabela 11), pode-se observar a influência da época e do tipo de queima na velocidade de propagação, consumo de material combustível, e na intensidade do fogo.

Tabela 11 - Influência do tipo e época de queima na velocidade de propagação, consumo de combustível e intensidade do fogo em povoamento de *Pinus taeda* nos E.U.A

<b>Tipo queima</b>	<b>Velocidade de Propagação (m s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Consumo de combustível (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Intensidade de fogo (kcal m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)</b>
Inverno (Contra o vento)	0,007	5,50 (38%)	17,0
Verão (Contra o vento)	0,006	6,25 (46%)	16,5
Inverno (Favor do Vento)	0,044	6,00 (40%)	116,4
Verão (Favor do Vento)	0,050	7,25 (53%)	154,3

Adaptado de Soares e Batista (2007).

A maior velocidade de propagação ocorreu no verão e com fogo a favor do vento. A maior influência da estação do ano pode ser detectada pelo consumo de material combustível e intensidade do fogo.

Outros fatores devem ser considerados, como a hora do dia em que é realizada a queima, pois também influenciam no sucesso da tarefa. Queimas realizadas durante a luz do dia são mais eficientes, em virtude das melhores condições de queima do material combustível, influenciadas pela maior temperatura e menor umidade do ar; porém, é claro que necessitam de maiores cuidados em relação ao controle do fogo. A realização da queima a noite somente é recomendada em florestas mais jovens, em virtude de causar menor volume de danos (GOLDAMMER, 1982).

O intervalo entre queimas sucessivas deve ser estudado para cada caso. Porém, de maneira geral, pode-se garantir que queimas anuais degradam o solo, não sendo, portanto, indicadas. Ao contrário, queimas muito espaçadas farão com que se acumule muito material combustível, aumentando, assim, o risco de ocorrência de incêndios involuntários (SOARES; BATISTA, 2007).

Desde que observadas as questões legais, tanto na esfera federal quanto estadual, e excetuando-se áreas de beleza cênica ou sensíveis (APPs, matas ciliares, etc.), Soares e Batista (2007) propõem os seguintes passos, abaixo relacionados, para a elaboração de um plano de queima controlada. Segundo os autores, um plano básico de queima é um instrumento que dará as diretrizes para sua realização. Deverá ser elaborado previamente por um Engenheiro Florestal habilitado, para a realização técnica da atividade. O “Plano de Queima Controlada” deverá conter basicamente as seguintes partes:

- a) Descrição e localização da área a ser queimada (contendo descrição da vegetação local, topografia, quantidade de material combustível e tamanho da área (mapa ou croqui));
- b) Objetivos da queima, que deverão ser descritos nesse ponto, o que se quer exatamente que o fogo faça (Ex: redução de material combustível, renovação de pastagens, etc);
- c) Comportamento do fogo, que deve ser indicado depois de visita e inspeção detalhada da área, considerando como atuará depois de iniciado e sob condições meteorológicas específicas;

- d) Em relação às condições meteorológicas, o profissional deverá detalhar quais as ideais para a realização da queima, com base nos objetivos do trabalho e na segurança do procedimento de queima. Assim, deverão ser estabelecidos condições limites de temperatura, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar (%) e o perigo de incêndio local (Índice de Perigo de Incêndio);
- e) Indicar detalhadamente qual a técnica de queima a ser usada, a qual estará na dependência da quantidade de material combustível e da intensidade necessária ou máxima do fogo. Exemplo: quando houver grande quantidade de material combustível e baixa umidade do ar, proceder à queima contra o vento, para que não seja perdido o controle do mesmo;
- f) Estabelecer quais as condições de vigilância, controle do fogo e rescaldo. Determinar como deve ser a segurança durante a realização da queima, em que posição deverão ficar, quantas pessoas, material necessário, quantos e onde deverão ficar os vigias, os quais darão o alerta em caso de alastramento do fogo, mudança da direção do vento, etc. Também devem ser estabelecidas as normas de rescaldo, ou seja, como deverão ser eliminados os vestígios de fogo que sobram no fim da queima (Exemplo: tocos que continuam queimando, pequenas sobras de vegetação sem queimar, pontos de fumaça, etc);
- g) Ao final da realização da queima, deverá ser realizada pelo profissional ou assistente habilitado a avaliação da mesma, registrando-se data e hora da queima, comportamento do fogo observado a campo (velocidade, intensidade, altura de crestamento, quantidade de combustível consumida, etc). Determina-se assim a eficiência da queima realizada.

## **7 PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS**

A necessidade de aumento da produção de alimentos, fibras e energia, decorrente do aumento da população ocorrido nos últimos tempos, trouxe consigo grandes e rápidas transformações tecnológicas e populacionais. Por sua vez, é observada a substituição de florestas naturais por plantações comerciais com essências exóticas, onde o risco de incêndios é aumentado, em virtude da presença

de maior quantidade de material combustível seco, prontamente disponível para a queima (TOLLER et al., 2002).

Espécies florestais exóticas de rápido crescimento, plantadas em substituição às florestas úmidas tropicais e subtropicais, produzem um ambiente mais seco, devido ao ralo sub-bosque e circulação mais livre do vento no interior das mesmas. Por esse motivo, embora o fogo não seja parte integrante desses ecossistemas, as mudanças produzidas nos mesmos criam condições favoráveis à ignição e propagação dos incêndios (SOARES, 2007).

Estatísticas sobre ocorrência de incêndios são fundamentais, não apenas para se conhecer o histórico e o perfil dos incêndios, mas também para auxiliar no desenvolvimento de metodologias e sistemas de manejo ou controle do fogo. Um aspecto importante a se determinar com relação aos incêndios florestais é a época mais propícia para sua ocorrência.

## 7.1 PREVENÇÃO DAS FONTES DE FOGO

Para Batista e Soares (19975), a completa exclusão do fogo de áreas florestais é uma tarefa impossível, mesmo para os mais eficientes sistemas de controle de incêndios. O que pode e deve ser feito é a implantação de sistemas de prevenção e combate a incêndios, devidamente dimensionados para cada área ou distrito florestal, de modo a minimizar os prejuízos provocados pelo fogo, dentro de limites de custo compatíveis com grau de perigo ou potencial de danos à região.

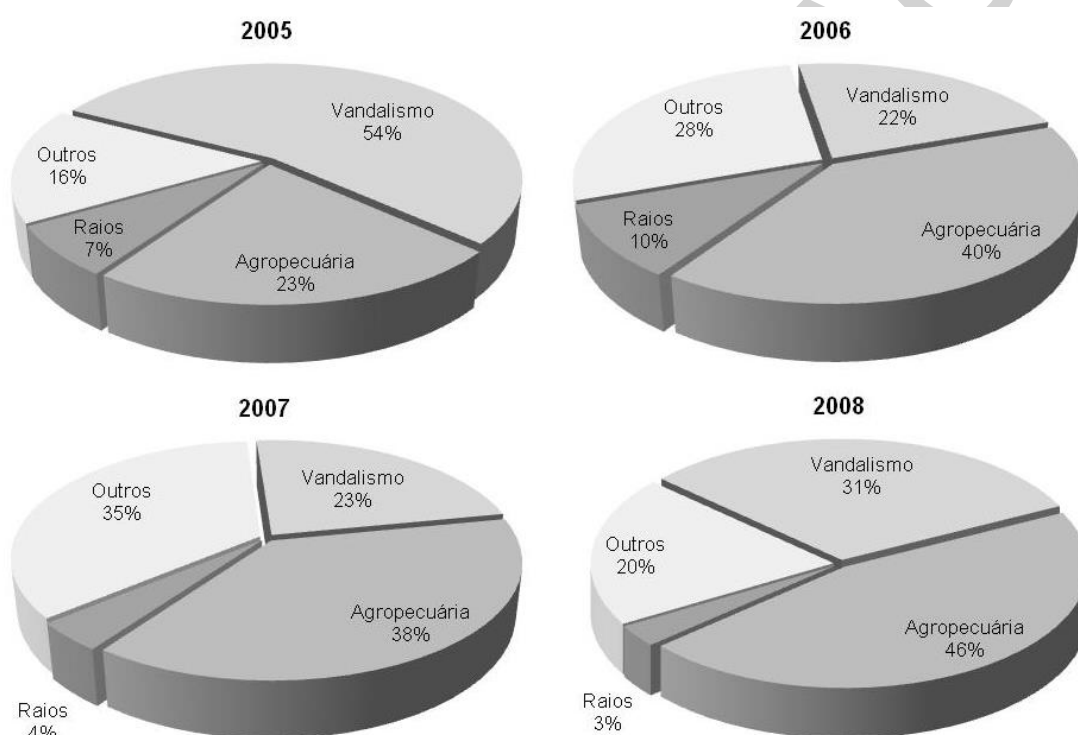
O conhecimento das causas dos incêndios florestais é de extrema importância, principalmente levando-se em consideração que servem como ponto de partida para a elaboração dos planos de prevenção.

As causas dos incêndios florestais são numerosas e de caráter muito variável. Para efeitos estatísticos, torna-se necessário estabelecer um padrão dessas causas, para ser usado em todo o país. Conforme Soares e Batista (2007), o agrupamento adotado pelos EUA e pela FAO tem apresentado bons resultados na organização das estatísticas sobre incêndios. Essa classificação abrange oito categorias de causas, que serão abordadas a seguir. Os mesmos autores ressaltam que incêndios com causas desconhecidas não devem ser incluídos em nenhuma dessas oito categorias, contudo, isso não deve desestimular a busca pela real causa dos

incêndios, já que em muitos países se adota uma nova categoria denominada causa indeterminada.

Na Figura 36, é possível verificar as principais causas de incêndios em unidades federais de conservação. As causas desses incêndios estão diretamente ligadas ao contexto socioeconômico regional, isto é, relacionadas às principais atividades presentes no entorno das Unidades de Conservação (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS, 2009).

Figura 36 - Porcentagem de incêndios com causas conhecidas, em unidades de conservação federais, no período entre 2005 e 2008



Fonte: Adaptado de IBAMA (2009).

Seguem as oito causas de incêndios, conforme classificação adotada pelos EUA e FAO.

### 7.1.1 Raios

Causam incêndios direta ou indiretamente por descargas elétricas (Figura 37). São os únicos que não constituem responsabilidade humana, sendo sua prevenção praticamente impossível. Em certas regiões, como no noroeste dos EUA, essa causa

pode adquirir grande ação destrutiva. No Brasil, não são muito comuns, em virtude das tempestades serem acompanhadas de chuva. Porém, podem ocorrer focos iniciais de incêndios por raios, focos esses que são facilmente debelados, quando descobertos ainda no dia seguinte à tempestade, antes que se possam propagar, o que ocorre especialmente em virtude da umidade do material florestal. Para Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007), a maneira mais eficiente na defesa de incêndios causados por raios, é a pronta detecção dos focos gerados após a ocorrência do raio.

Figura 37 - Ação de um raio como agente causador de incêndios florestais



Fonte: <http://lightninged.cards> (2018).

### 7.1.2 Incendiários

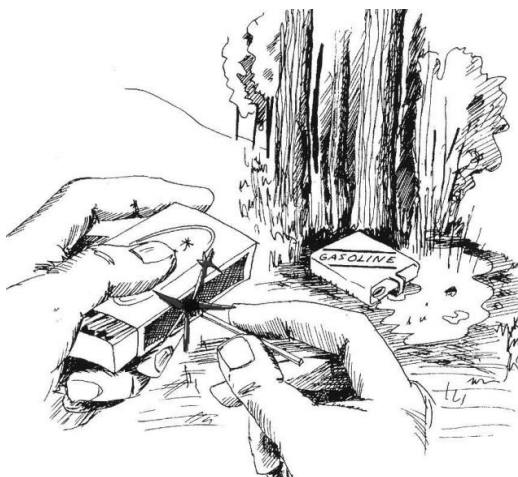
Nesse grupo, estão incluídos os incêndios provocados intencionalmente por pessoas em propriedade alheia. Podem-se distinguir dois tipos de incendiários: aqueles que agem por vingança e os que agem inconscientemente, por um desequilíbrio mental qualquer, tornando-se "piromaníacos" (Figura 38).

Em Portugal, existem muitos incêndios florestais e alguns urbanos, em que as causas podem ser diversas, mas o mais difícil de definir é o perfil dos indivíduos que cometem esse crime. Adiantando alguns dados que virão a ser aprimorados na



sequência do estudo, uma psicóloga deu alguns traços gerais que caracterizam o perfil desses indivíduos, e salientou que a maioria dos incendiários assumem o crime devido à pena que sofreram, mas muitos não indicam as motivações.

Figura 38 - Ação de incendiários



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvelius (2007).

Segundo pesquisas, a piromania (ato de um indivíduo cometer o crime de incendiário por prazer) faz parte da tipologia de incendiários pouco usuais no país. Os traços gerais das condições sociais e psicológicas de um presumível incendiário são listados no Quadro 8.

Quadro 8 - Principais características no perfil de incendiários rurais e urbanos

(continua)

<b>Incendiário rural</b>	<b>Incendiário urbano</b>
A idade varia entre os 18 e 80 anos;	A idade varia entre os 18 e 80 anos;
Tem comportamento não violento;	Tem comportamento mais violento e agressivo;
As causas têm mais relação com vinganças de partilhas e divisões de terras;	Tem uma ficha criminal considerável;
Apresentam dificuldades de aprendizagem que podem depender do contexto onde estiveram inseridos;	O crime na sua maior parte serve para ocultar provas e como forma de expressão;
Indivíduo com problemas psiquiátricos associados a problemas psicológicos;	Sofre de problemas psicológicos mais graves;
Tem uma profissão não qualificada, mas está já há vários anos com o mesmo emprego;	Tem um emprego mais qualificado, mas instável;

Quadro 8 – Principais características no perfil de incendiários rurais e urbanos

(conclusão)

<b>Incendiário rural</b>	<b>Incendiário urbano</b>
Persiste uma instabilidade familiar;	Persiste uma instabilidade familiar;
Solteiro;	Solteiro;
Consumidor de álcool;	Consumidor de álcool e drogas;
Os crimes são perpetrados contra o patrimônio (propriedades);	Os crimes são contra o patrimônio (propriedades) e pessoas;
O crime é feito longe do local de trabalho;	O crime é feito no local de trabalho e noutros pontos.
De um modo geral, atua individualmente, à exceção dos jovens, que atuam em grupo.	

Fonte: Adaptado de Plaza (2016).

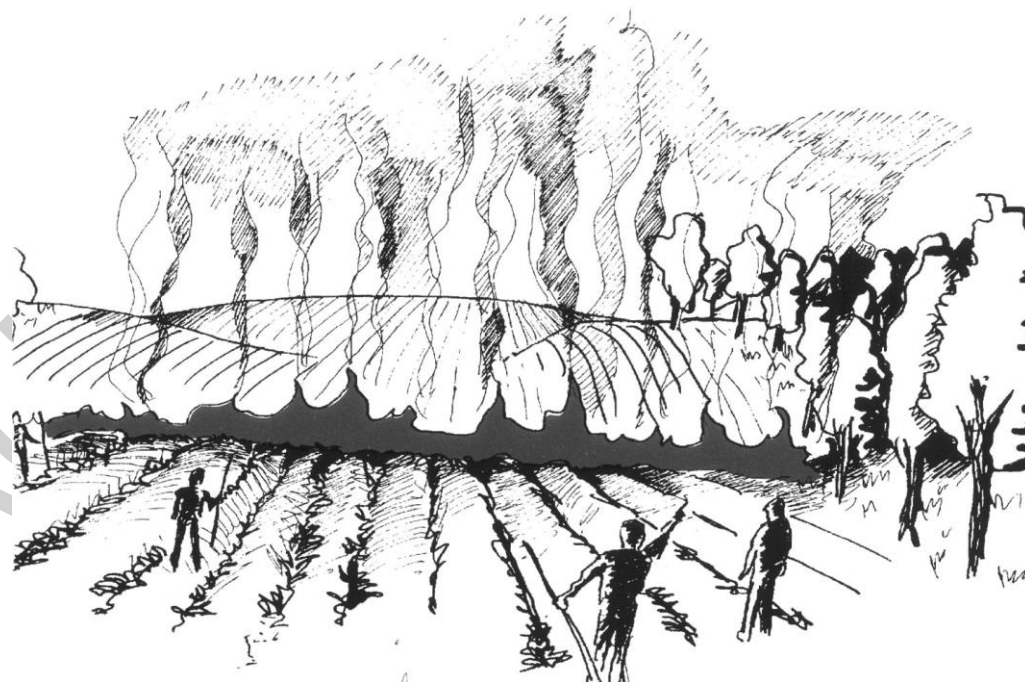
Apesar de nenhum trabalho semelhante ser conhecido no Brasil, o exemplo de Portugal serve para que seja demonstrada a importância que é dada ao tema naquele país. Alerta também para que um trabalho nesse nível, se aqui fosse realizado, certamente traria resultados interessantes a serem aplicados na educação de todas as pessoas. Esse aspecto deve ser parte integrante de um plano de prevenção de incêndios para uma empresa, bacia hidrográfica ou determinada região.

### 7.1.3 Queimas para limpeza

Compreende os incêndios florestais originados de fogo usados na limpeza do terreno, para qualquer propósito (agricultura, pastagem, reflorestamentos), que por negligência ou descuido tenham escapado ao controle, atingindo áreas florestais (Figura 39). Nos países tropicais, de uma maneira geral, essa é a principal causa dos incêndios florestais. O grande incêndio que assolou o Paraná, em 1963, originou-se principalmente da prática de se queimar áreas, a fim de prepará-las para o cultivo agrícola. Como a época do ano, devido às fortes geadas, propicia a propagação do fogo e não foram tomados os cuidados necessários, o fogo escapou ao controle dos agricultores e se expandiu de maneira catastrófica. Essa prática de se preparar terreno para agricultura através de fogo ainda é muito usada atualmente, justamente na época mais perigosa do ano (agosto e setembro para essa região), ameaçando constantemente as áreas florestais com novas catástrofes.

Na Amazônia, de acordo com o Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia (IPAM) (NEPSTAD et al., 2000), a pecuária e a agricultura de corte e queima são dependentes do fogo como instrumento de manejo. No entanto, esse mesmo fogo frequentemente foge ao controle e atinge áreas não destinadas à queima. Nesse cenário, os produtores acabam sendo desmotivados de fazer investimentos em sistemas agroflorestais, em culturas permanentes e até em cercas, devido ao alto risco de perderem tudo com um fogo accidental. A expansão da rede rodoviária favorece a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência, que, por sua vez, levam à maior incidência de fogo accidental, reforçando a permanência das atividades extensivas de pecuária e agricultura de subsistência. Esse primeiro ciclo vicioso pode acelerar o desmatamento em grande escala. O fogo usado na abertura e manejo de pastagens e na agricultura de corte e queima geralmente foge ao controle, queimando culturas perenes, sistemas agroflorestais e florestas manejadas para produção madeireira. Essas perdas estimulam produtores a continuarem optando por sistemas de produção extensivos, mantendo sua dependência do fogo.

Figura 39 - Ciclo vicioso entre sistemas de produção extensivos, fogo accidental e perdas em sistemas intensivos



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

Desse modo, o uso da queima, seja ela acidental ou provocada intencionalmente, para a formação de pastagens para pecuária extensiva, acarreta outros problemas com o passar dos anos. Casos muito típicos têm acontecido no estado de Roraima, onde os agricultores queimam a floresta para a instalação de pastagens. Após alguns anos de pastejo, já começam a aparecer manchas, em meio às gramíneas, de solo descoberto, o qual dará início, na época das chuvas, a processos erosivos.

A pecuária no norte do país é uma atividade que merece maiores cuidados, uma vez que a lotação de animais por área deve ser pequena, visando à não degradação do solo (altamente intemperizado, frágil, onde a degradação já iniciou quando da passagem do fogo). A situação descrita é mais frequente em pequenas e médias propriedades, onde o proprietário, visando obter lucros capazes de manter a sua família através da pecuária e não tendo área disponível para tanto, acaba por colocar muitos animais por hectare, dando início ao processo de degradação.

#### 7.1.4 Fumantes

Nesse item, estão incluídos os incêndios originados por fósforos e pontas de cigarros acesas, que são atiradas displicentemente por fumantes descuidados (Figura 40). Provavelmente, essa seja a causa em que mais se evidencia a falta de cuidado do homem na proteção das florestas contra incêndios.

Figura 40 - Fumantes causando incêndios em beiras de estradas



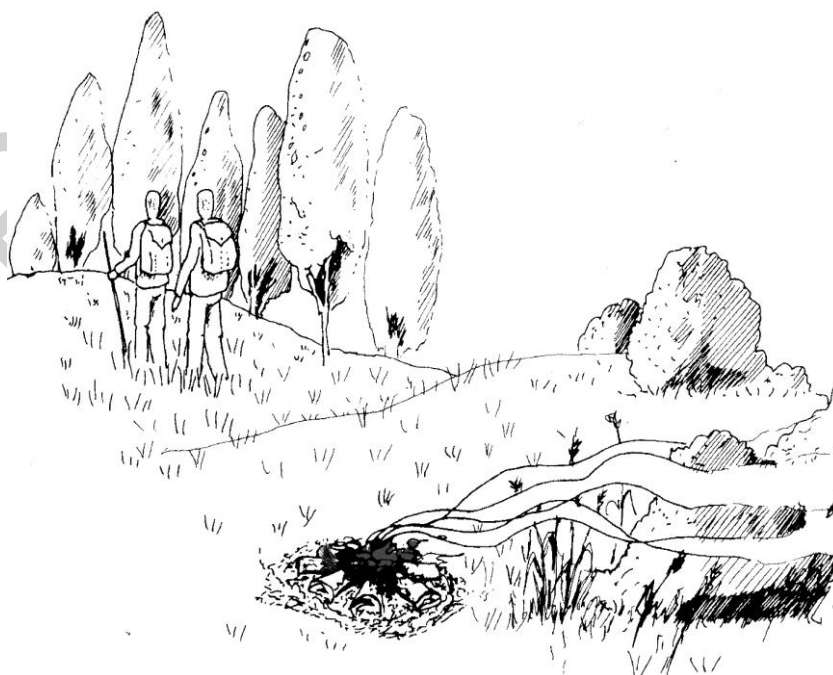
No Brasil, principalmente na época mais seca do ano para as regiões Centro-Oeste, Sudeste, Norte e Nordeste, intensificam-se os focos de incêndios provenientes de pessoas descuidadas, que jogam cigarros ou fósforos acesos no chão. Casos típicos ocorrem nas margens de rodovias, onde o motorista, ao jogar uma bituca de cigarro acesa pela janela de seu carro, poderá iniciar um grande incêndio, em que o fogo começa no capim à margem da rodovia e, posteriormente, se espalha, podendo queimar florestas e residências.

#### 7.1.5 Fogos campestres

Nessa classe, estão incluídos os incêndios florestais originados de fogueiras feitas por pessoas que estão acampadas, caçando ou pescando na floresta ou proximidades.

Não se incluem aqui os trabalhadores florestais que estejam em atividade, pois são considerados em um grupo separado. Os parques florestais abertos à recreação estão sempre sujeitos a esse tipo de incêndio, devido ao descuido e irresponsabilidade de certas pessoas que os visitam (Figura 41).

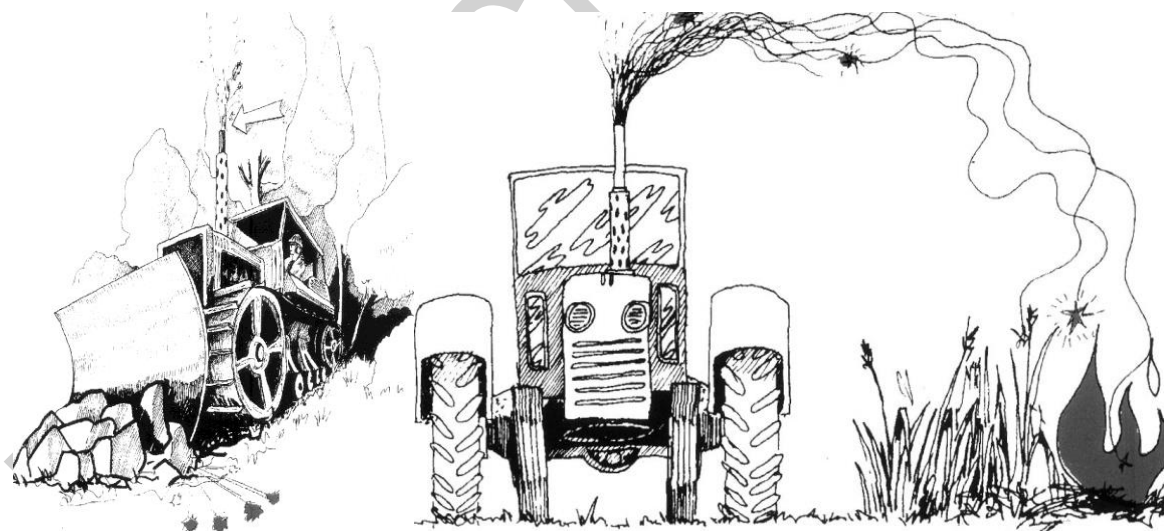
Figura 41 - Fogueira em acampamento, como possível causa de incêndios



### 7.1.6 Operações florestais

As diversas operações florestais podem causar incêndios, especialmente se forem realizadas por pessoal descuidado. Durante a execução de colheitas, por exemplo, são utilizados diversos equipamentos e máquinas como motosserras, tratores, etc. (Figura 42). O uso desses equipamentos, especialmente durante períodos secos, com alto risco para o início de incêndios, deve ser efetuado de forma cuidadosa. Urge tomar medidas como adotar dispositivos que evitem a saída de faíscas dos escapamentos de tratores, realizar a manutenção de equipamentos que necessitem de solda, por exemplo, em locais apropriados, evitando assim, o início do fogo no interior da floresta. Nesse sentido, os trabalhadores devem ser treinados quanto ao funcionamento dos equipamentos, além de possuírem equipamentos e treinamento apropriados para a pré-supressão do fogo (extintores, pás e bombas costais) (HEIKKILÄ, GRÖNQVIST E JURVÉLIUS, 2007).

Figura 42 - Máquinas utilizadas em operações florestais, como agentes causadores de incêndios



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

### 7.1.7 Estradas de ferro

Nessa classificação, estão incluídos os incêndios que, direta ou indiretamente, são causados pelas atividades em estradas de ferro (Figura 43).

Como causa direta, podemos definir as fagulhas desprendidas das locomotivas que, encontrando a vegetação seca, podem causar incêndios.

Figura 43 - Fagulhas oriundas de locomotivas, como agente causador de incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

Com o uso de máquina diesel-elétrica, esse perigo tem diminuído sensivelmente. Como causa indireta, é possível citar os materiais acesos, como fósforos e estopas encharcadas de óleo, atirados por passageiro e maquinistas. As propriedades florestais que são cortadas por estrada de ferro necessitam de uma vigilância constante ao longo do seu percurso, para se evitar possíveis incêndios.

#### **7.1.8 Diversos**

Nessa classe, são incluídos os incêndios que não podem, satisfatoriamente, serem classificados em nenhum dos outros grupos analisados. São causas pouco frequentes, que ocorrem esporadicamente, e por essa razão não justificam uma classificação especial. Um exemplo típico de classificação nesse grupo seria o dos incêndios causados pelos balões de festas juninas.

O conhecimento das causas dos incêndios é básico para a elaboração de planos de prevenção. Ainda hoje, o Brasil não possui uma estatística confiável, que permita o conhecimento das principais causas dos incêndios, nas diversas regiões do país. É de extrema importância, portanto, que os órgãos competentes e mesmo

as empresas verticalizadas, que realizam atividades silviculturais, mantenham um banco de dados das ocorrências e causas dos incêndios florestais, para que sejam tomadas medidas concretas de proteção, através da elaboração de planos de prevenção.

## 7.2 PREVENÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO FOGO

O planejamento da prevenção à ocorrência de incêndios florestais é de grande importância. Requer a aplicação de táticas variadas e a utilização de equipes completas, com formação pessoal distinta e específica e com funções diferentes, formando um todo com um só objetivo. A prevenção de incêndios age basicamente em dois componentes do triângulo do fogo, a ignição e o material combustível (SOARES; BATISTA, 2007). Nesse sentido, é necessário:

- a) Preparar as florestas, campos e pastagens com aceiros e outros obstáculos contra incêndios;
- b) Instalar sistemas de detecção e comunicação, que permitam atacar e extinguir rapidamente o fogo;
- c) Conhecer as principais causas de incêndios, evitando que se originem.
- d) Quando houver possibilidade, é ecologicamente correto mesclar espécies vegetais resistentes ao fogo, para dificultar o avanço dos incêndios;
- e) Quando possível, plantar espécies vegetais que têm a capacidade de armazenar água ou que vivem em lugares úmidos, como as higrófilas, em áreas limítrofes, favorecendo a formação de aceiros naturais ou faixas, pois essas espécies aumentam a umidade relativa do ar;
- f) Construir torres de observação em pontos estratégicos, especialmente nas Unidades de Conservação;
- g) Desenvolver trabalho educativo, objetivando sensibilizar e esclarecer a comunidade que se relaciona com o empreendimento florestal, ou que se localize internamente ou nos limites de reservas e parques, sobre a necessidade e importância da prevenção dos incêndios florestais;
- h) Divulgar, exaustivamente, através dos meios de comunicação, informações relativas aos perigos dos incêndios florestais, dentro das áreas da empresa e nas áreas limítrofes.



Impedir totalmente que os incêndios ocorram é praticamente impossível. Porém, é fundamental impedir seu avanço no ecossistema. Assim, medidas e ações para evitar a ocorrência e propagação dos incêndios são de vital importância no trabalho de combate aos sinistros, assim como a colaboração de todos é fundamental.

As atividades de prevenção começam com a construção de acessos livres, caminhos, picadas, pontes nas florestas, matas, serras, montanhas para facilitar a segurança e penetração de brigadas nas áreas de ocorrência dos incêndios.

Para a comunicação, detecção e realização dos primeiros ataques ao fogo, é necessária a construção de cabanas, de barracas e de abrigos, em pontos estratégicos, com equipamentos úteis e ferramentas imprescindíveis a essas atividades. Além disso, a construção de torres de observação em pontos estratégicos permite o máximo de visibilidade ao observador na identificação dos focos de incêndios e na comunicação desses ao chefe da equipe.

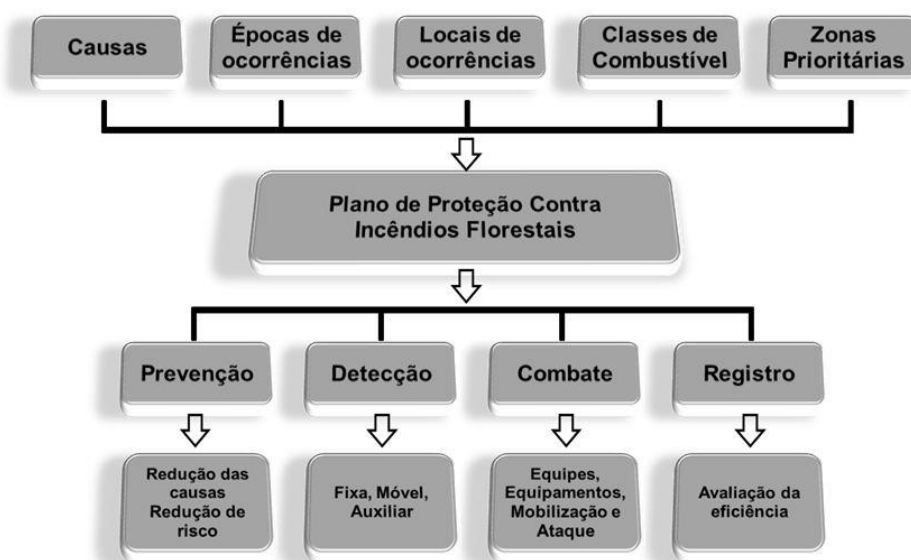
Nas regiões de pequenas propriedades rurais, presente em áreas de alto risco de incêndios, é essencial, como medida de prevenção, que as autoridades competentes supervisionem possíveis queimas a serem realizadas pelos agricultores. Por sua vez, o agricultor, ao pretender fazer queima controlada, necessita preparar o terreno (fazendo aceiros ou corta fogos) de forma adequada, eliminando todo e qualquer material combustível, como gramíneas, herbáceas e restos de cultura. É importante, ainda, evitar a queima de grandes áreas (acima de 10 hectares) ao mesmo tempo, para impedir a passagem de faíscas sobre os aceiros para outras áreas.

Em áreas mecanizadas, o uso de máquinas pesadas para fazer aceiros, retirando o material combustível inflamável, é aconselhável para não permitir que o fogo alcance outras áreas.

### 7.3 PLANOS DE PREVENÇÃO

Depois de identificado o perfil dos incêndios em uma determinada área, elabora-se o Plano de Proteção, em que serão descritas todas as medidas e ações necessárias para reduzir o risco de ocorrência de incêndios e danos ocasionados pelo fogo. Na Figura 44, verificam-se as principais informações necessárias para a construção do plano, além das medidas a serem adotadas.

Figura 44 - Fluxograma de entradas (informações básicas) e saídas (medidas e ações) de um plano de proteção contra incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

Conforme Soares e Batista (2007), nesse plano, devem ser apontadas medidas preventivas para reduzir o número de incêndios, assim como dificultar sua propagação. O sistema de detecção, técnicas de combate, equipamentos necessários e treinamento de pessoal devem estar contemplados e prescritos no documento. Nesse sentido, deve-se manter um banco de dados, com o registro de todas as ocorrências de incêndios, a fim de permitir o aprimoramento periódico do plano de prevenção.

Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007) sugerem um exemplo de estrutura básica, abaixo relacionado, para formulação de um plano de prevenção. A partir desse exemplo, é possível realizar adequações para promover seu uso em diversas situações, conforme as peculiaridades de cada caso:

a) Bases para o plano de prevenção:

- Mapeamento das ocorrências de incêndios;
- Gráficos sobre estatísticas dos incêndios;
- Mapeamento de áreas de risco;
- Mapeamento das operações florestais;

b) Objetivos do plano de prevenção;

c) Resumo dos problemas e das medidas a serem adotadas;

d) Recursos para operações de prevenção de incêndios:

- Uso de bombeiros, brigadistas, etc;
- Contato com outras pessoas ou entidades para cooperação;
- Orçamento financeiro;
- e) Leis, regulações, regras e restrições para o fogo;
- f) Educação da população, guias para população e turistas, etc;
- g) Regulamentação para silvicultores e fazendeiros, etc;
- h) Redução dos riscos físicos em áreas de alto risco;
- i) Material informativo (placas, etc.);
- j) Treinamentos para prevenção de incêndios;
- k) Coleta e registro de informações sobre o incêndio.

## 8 ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIOS

Os índices de perigo de incêndios são classificações numéricas que refletem antecipadamente a possibilidade de ocorrer um incêndio, assim como a facilidade de o fogo se propagar, de acordo com as condições atmosféricas do dia. O conhecimento desses índices é fundamental dentro de um plano de prevenção contra incêndios florestais, por permitir a previsão das condições de perigo, possibilitando assim a adoção de medidas preventivas mais eficientes e econômicas. Empiricamente, esses índices podem ser divididos em dois grupos: índices de ocorrência (estimando a probabilidade de ocorrência, ou seja, se existem condições favoráveis ou não para a ignição) e de propagação (que incorporando a velocidade do vento e fatores de caráter permanente, além da ocorrência, refletem uma previsão do comportamento do fogo) (SOARES; BATISTA, 2007).

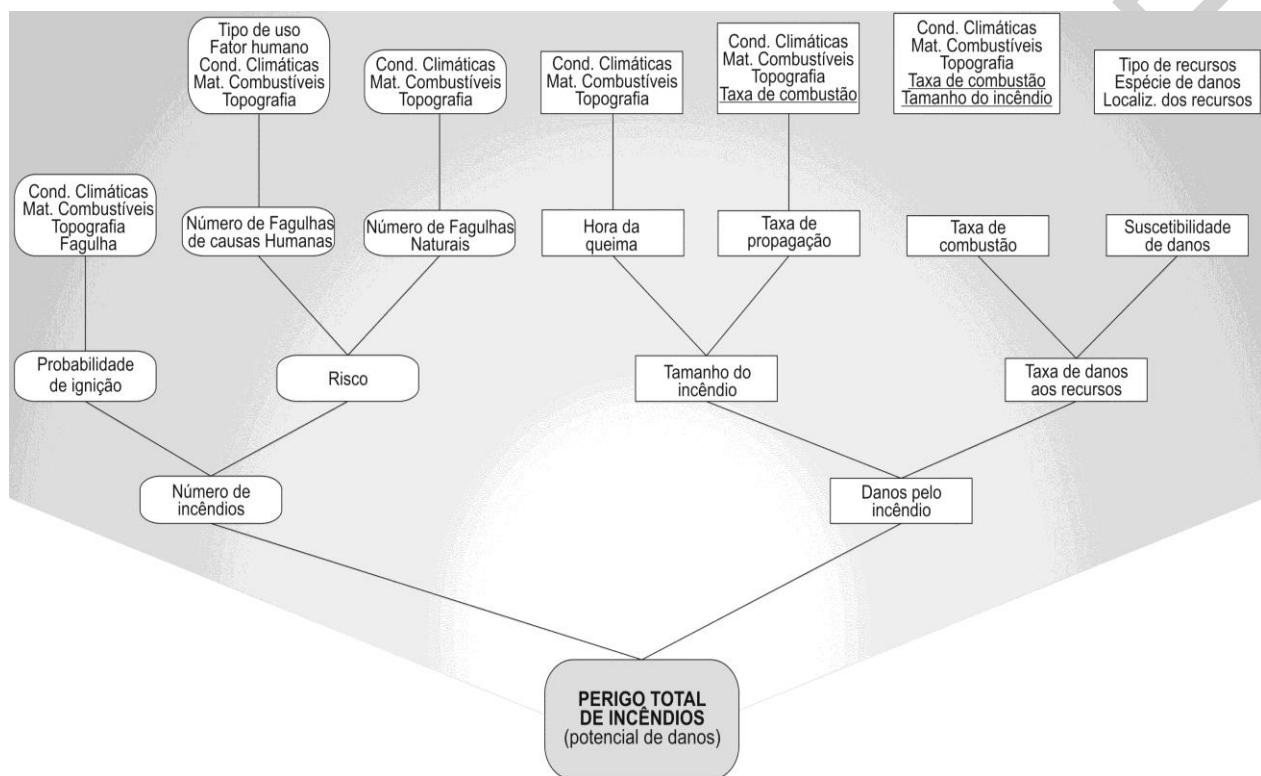
### 8.1 PRINCIPAIS ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO

Os índices de perigo são o resultado de cálculos que se baseiam em fatores de caráter permanente, como tipo de floresta e topografia e fatores de caráter variável, como os climáticos. No diagrama da estrutura de perigo de incêndio (Figura 45), algumas partes estão dentro de quadros e outras não.

Algumas diferenças distintas entre os dois grupos fazem essa separação necessária. Os itens dentro dos quadros são chamados “componentes do perigo de fogo” e os outros “determinantes do perigo do fogo” (SOARES, 1972). Segundo o

mesmo autor, uma vez estabelecidas as relações entre os componentes e os determinantes do perigo de fogo, esse permanece constante de qualquer modo que o sistema for usado.

Figura 45 - Diagrama da estrutura de perigo de incêndio



Fonte: Adaptado de Soares (1972).

### 8.1.1 Índice de Angström

Desenvolvido na Suécia, baseia-se fundamentalmente na temperatura e umidade relativa do ar, ambos medidos às 13:00 horas. Esse índice é calculado diariamente, não sendo cumulativo (SOARES, 1972) e dado pela equação:

$$B = 0,05 \cdot H - 0,1 (T - 27). \quad (13)$$

Sendo:

B = índice de Angström

H = umidade relativa do ar em decimal

T = temperatura do ar em °C

Sempre que o valor de “B” for menor que 2,5, haverá risco de incêndio, isto é, as condições atmosféricas do dia estão favoráveis à ocorrência de incêndios. Esse índice não tem se adaptado bem às regiões brasileiras.

#### 8.1.2 Índice de Nesterov

Os riscos de ocorrência de incêndios, bem como da rápida propagação dos mesmos, aumentam com a persistência dos dias secos ou perigosos. Isso porque quanto mais dias perigosos tivermos, mais seco se tornará o material combustível e mais favorável se tornarão as condições atmosféricas para o aparecimento e propagação de grandes incêndios.

Por essa razão, o índice de Nesterov, desenvolvido originalmente na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (U.R.S.S.), nos dá uma indicação bem mais precisa da periculosidade dos incêndios, pois ele determina o grau de perigo não apenas do dia, mas sim da época, ou seja, determina o grau de perigo baseado no acúmulo de dias perigosos:

$$G = \sum_{n=1}^n (d \cdot t) \quad (14)$$

Onde:

G = índice de inflamabilidade;

n = número de dias sem chuva;

t = temperatura do ar às 13:00;

d = déficit de saturação às 13:00, isto é, a diferença entre a tensão máxima de vapor d'água em mb para a temperatura (E) e a tensão atual do vapor d'água (e), ou seja,  $d = E - e$ . A tensão máxima de vapor d'água (E) é dada diretamente pela tabela (em mb), enquanto a tensão relativa de vapor d'água é igual ao produto da tensão máxima pela umidade relativa do ar ( $e = E \cdot UR$ ) (ver Anexo C). Segundo Soares e Batista (2007), o valor de “d” pode ser calculado pela seguinte equação:  $d = E (1 - H / 100)$ , onde: d=déficit de saturação do ar em milibares; E=pressão máxima de vapor d'água em milibares; H=umidade relativa do ar em %.

O sinal de soma ( $\Sigma$ ) indica que o cálculo é acumulativo ( $G_{hoje} = G_{calculado} + (d \cdot t)_{hoje}$ ), ou seja, é uma soma contínua do produto (d.t). Essa

somatória é limitada, pela ocorrência de precipitação, de acordo com as restrições contidas no Quadro 9.

Quadro 9 - Modificações no cálculo do Índice de Nesterov, no caso de ocorrência de chuvas

Chuvas do dia (mm)	Modificações no cálculo
Menor que 2	Considerar como sem chuva, isto é, somar (d.t) de hoje ao valor de $G_{\text{calculado}}$ .
De 2,1 a 5	Abater 25% no valor de $G_{\text{calculado}}$ e somar (d.t) de hoje, isto é, $G=0,75.G_{\text{ontem}} + (d.t)_{\text{hoje}}$ .
De 5,1 a 8	Abater 50% no valor de $G_{\text{calculado}}$ e somar (d.t) de hoje, isto é, $G=0,50.G_{\text{ontem}} + (d.t)_{\text{hoje}}$ .
De 8,1 a 10	Abandonar a soma anterior de G e recomeçar novo cálculo, isto é, $G=(d.t)_{\text{hoje}}$ .
Maior que 10,1	Interromper o cálculo e recomeçar no dia seguinte, ou quando a chuva cessar, segundo as regras do caso anterior.

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

O grau de perigo indicado pelo valor de G é interpretado segundo a Tabela 12.

Tabela 12 - Interpretação dos valores do índice de inflamabilidade

Valor de G	Perigo de incêndio
Até 300	Nenhum risco
De 301 a 500	Risco fraco
De 501 a 1000	Risco médio
De 1001 a 4000	Grande perigo
Maior que 4000	Perigosíssimo

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

### 8.1.3 Índice ou Fórmula de Monte Alegre

Esse índice foi determinado a partir de dados da região central do Paraná, denominada de Monte Alegre; quando comparada com outras fórmulas internacionais (Angström, Nesterov e Telicyn), demonstra uma superioridade ao nível de 99% de probabilidade (CIANCIULLI, 1981). O valor do índice é cumulativo, sendo calculado com base na umidade relativa do ar e na precipitação das últimas 24

horas, sempre medidos às 13:00 horas. Segundo Soares e Batista (2007), a equação básica para o cálculo é a seguinte:

$$FMA = \sum_{i=1}^n \left( \frac{100}{Hi} \right) \quad (15)$$

Onde:

FMA = Fórmula de Monte Alegre;

Hi = umidade relativa do ar (%), medida às 13 horas;

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

No Quadro 10, são apresentadas as restrições às quais o modelo está sujeito, conforme a quantidade de chuva no dia anterior.

Quadro 10 - Restrições à somatória da FMA, de acordo com a precipitação do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo	Fator de correção do valor acumulado
≤ 2,4	Nenhuma	1
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.	0,7
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.	0,4
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.	0,2
> 12,9	Interromper a somatória (FMA = 0) e recomençar o cálculo no dia seguinte ou quando a chuva cessar.	

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

Com o objetivo de aperfeiçoar a Fórmula de Monte Alegre, Nunes, Soares e Batista (2006) propuseram a inclusão da variável velocidade do vento no cálculo do índice:

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n \left( \frac{100}{Hi} \right) \cdot e^{0,04 \cdot v} \quad (16)$$

(a fórmula poderia ser escrita assim:  $(FMA^+ = FMA \cdot e^{0,04 \cdot v})$  e neste caso não necessitaria descrever novamente os termos da equação, apenas  $v$  e  $e$ ).

Onde:

FMA<sup>+</sup> = Fórmula de Monte Alegre Alterada;

H<sub>i</sub> = umidade relativa do ar (%), medida às 13 horas;

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

v = velocidade do vento em m s<sup>-1</sup>, medido às 13:00 horas;

e = base dos logaritmos naturais (2,718282).

A inclusão da variável velocidade do vento à fórmula original proporcionou também a indicação da intensidade de propagação do fogo. Por ser acumulativo (em relação à umidade relativa), o índice está sujeito às mesmas restrições de precipitação da FMA (Quadro 10); contudo, como o efeito do vento não é cumulativo, é utilizado o valor de velocidade do vento às 13:00 horas de cada dia (SOARES; BATISTA, 2007).

Como decorrência dos valores obtidos por meio dos cálculos, estabeleceu-se um quadro de escala do grau de perigo de incêndio. Na Tabela 13 é apresentada a escala de perigo de incêndio para as Fórmulas de Monte Alegre e Monte Alegre Alterada. No Apêndice A pode-se verificar um exemplo hipotético do cálculo diário dos valores de FMA<sup>+</sup>.

Tabela 13 - Escala de perigo de incêndio para a Fórmula de Monte Alegre e para a Fórmula de Monte Alegre Alterada.

Valor do Índice (FMA)	Valor do Índice (FMA <sup>+</sup> )	Grau de perigo
≤ 1,0	≤ 3,0	Nulo
1,1 a 3,0	3,1 a 8,0	Pequeno
3,1 a 8,0	8,1 a 14,0	Médio
8,1 a 20,0	14,1 a 24,0	Alto
> 20,0	> 24,0	Muito alto

Adaptado de Soares e Batista (2007).

A partir dos valores de Grau de perigo obtidos, é possível estabelecer medidas preventivas para o possível comportamento do fogo e dificuldade de supressão dele (Quadro 11).



Quadro 11 - Medidas preventivas, comportamento do fogo e dificuldade de supressão, a partir do grau de perigo

(continua)

Grau de Perigo	Medidas Preventivas
Nulo	Não existe perigo de incêndios. Deve-se usar esse período para iniciar o treinamento de pessoal e planejamento das atividades. Inicia-se a manutenção de aceiros, estradas, acesso aos pontos de captação de água e a revisão de todas as ferramentas, equipamentos de proteção individual, demais equipamentos, veículos e sistema de comunicação. A vigilância preventiva pode ser desmobilizada. As torres não precisam operar.
Pequeno	O perigo de incêndios é pequeno. Deve-se usar esse período para intensificar o treinamento de pessoal e planejamento das atividades. Intensifica-se a manutenção de aceiros, estradas, acesso aos pontos de captação de água e a revisão de todas as ferramentas, equipamentos de proteção individual e demais equipamentos, veículos e sistema de comunicação. A vigilância preventiva pode ser reduzida. As torres não precisam operar.
Médio	O perigo de incêndios é médio. Os meios de controle, como equipes de combate, ferramentas, equipamentos de proteção individual, demais equipamentos e veículos e sistema de comunicação devem estar em condições de serem usados. Os aceiros, estradas e acesso a pontos de captação que atuam devem estar em boas condições. Veículos e equipamentos de comunicação devem ser ligados e testados diariamente. As torres começam a operar.
Alto	O perigo de incêndios é alto. Os meios de controle como equipes de combate, ferramentas, equipamentos de proteção individual, demais equipamentos e veículos e sistema de comunicação devem estar em condições de serem usados. A vigilância preventiva deve ser intensificada, aumentando o período de operação das torres e da vigilância móvel. A passagem por áreas críticas será limitada. As operações agrícolas e florestais que usam fogo devem ser limitadas. Veículos e equipamentos de comunicação devem ser ligados e testados pelo menos duas vezes ao dia.
Muito alto	O perigo de incêndios é muito alto. Os meios de controle, como equipes de combate, ferramentas, equipamentos de proteção individual, demais equipamentos e veículos e sistema de comunicação, devem estar em condições de serem usados. A vigilância preventiva deve ser intensificada, aumentando o período de operação das torres e da vigilância móvel. A passagem por áreas críticas será limitada, não se permitindo o uso do fogo nas proximidades dessas áreas. As operações agrícolas e florestais que usam fogo devem ser suspensas. A população deve ser avisada por meios de comunicação, como rádio e televisão, para que tome medidas preventivas. Equipes de primeiro combate devem ficar de plantão para qualquer eventualidade.
Grau de Perigo	Comportamento do Fogo
Nulo	A ignição é difícil. O tamanho das chamas é pequeno, podendo o fogo se extinguir por si só.
Pequeno	A ignição se inicia prontamente, mas se propaga lentamente. O comprimento das chamas em pastagens e reflorestamentos é menor que 1 m e a taxa de propagação é menor que $0,3 \text{ km h}^{-1}$ .
Médio	A ignição é imediata, se propaga rapidamente, atingindo a camada mais baixa das árvores. O comprimento das chamas em pastagem e reflorestamento fica entre 1 e 2 m e a taxa de propagação entre $0,3$ e $1,5 \text{ km h}^{-1}$ .

Quadro 91 - Medidas preventivas, comportamento do fogo e dificuldade de supressão, a partir do grau de perigo

(conclusão)

<b>Grau de Perigo</b>	<b>Comportamento do Fogo</b>
Alto	A ignição é imediata e se propaga muito rapidamente, com incêndios de copa e fagulhamento à curta distância. O comprimento das chamas fica entre 2 e 5 m e a taxa de propagação entre 1,5 e 2,0 km h <sup>-1</sup> .
Muito alto	A ignição é imediata e o fogo se propaga extremamente rápido, com fagulhamento à longa distância em combustíveis perigosos. O comprimento das chamas fica entre 5,0 e 15,0 m ou mais. A taxa de propagação na frente do fogo pode ser superior a 4,0 km h <sup>-1</sup> .
<b>Grau de Perigo</b>	<b>Dificuldade de Supressão do Fogo</b>
Nulo	O ataque direto é viável com ferramentas básicas de combate. Qualquer fogo que possa ocorrer é facilmente combatido por ataque direto.
Pequeno	O ataque direto é viável com ferramentas básicas de combate. Qualquer fogo que possa ocorrer é facilmente combatido por ataque direto.
Médio	O ataque direto geralmente não é possível. A melhor forma de combate deve combinar o método paralelo com o uso de água.
Alto	O ataque direto não é viável. Não se pode aproximar do fogo. Contra fogo combinado com bombeamento de água são os únicos meios efetivos de combate.
Muito alto	Qualquer forma de combate torna-se difícil, a menos que as condições meteorológicas mudem. O uso de contra fogo é perigoso e deve ser evitado, a não ser que se tenha uma base segura.

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

## 8.2 USO DOS ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO

O uso desses índices, quando corretamente calculados, nos fornecem uma boa noção do grau de perigo que o dia ou a época apresentam. Mas não há dúvida de que é necessário realizar pesquisas, visando à melhor adaptação desses índices às condições locais, pois valores válidos para a região Sul, certamente, não serão os mesmos válidos para a região Norte.

No Quadro 12, verificam-se as diversas utilidades e aplicações dos índices de perigo de incêndios.

Quadro 12- Utilidades dos índices de Risco de incêndios

(continua)

<b>Índice de perigo</b>	<b>Aplicações</b>
Conhecimento do grau de perigo	Os índices permitem, diariamente, um conhecimento do grau de perigo a que está sujeita a área florestal, ao estimar a probabilidade de ocorrência de incêndios, desde que exista uma fagulha para iniciar a combustão.

Quadro 12 - Utilidades dos índices de Risco de incêndios

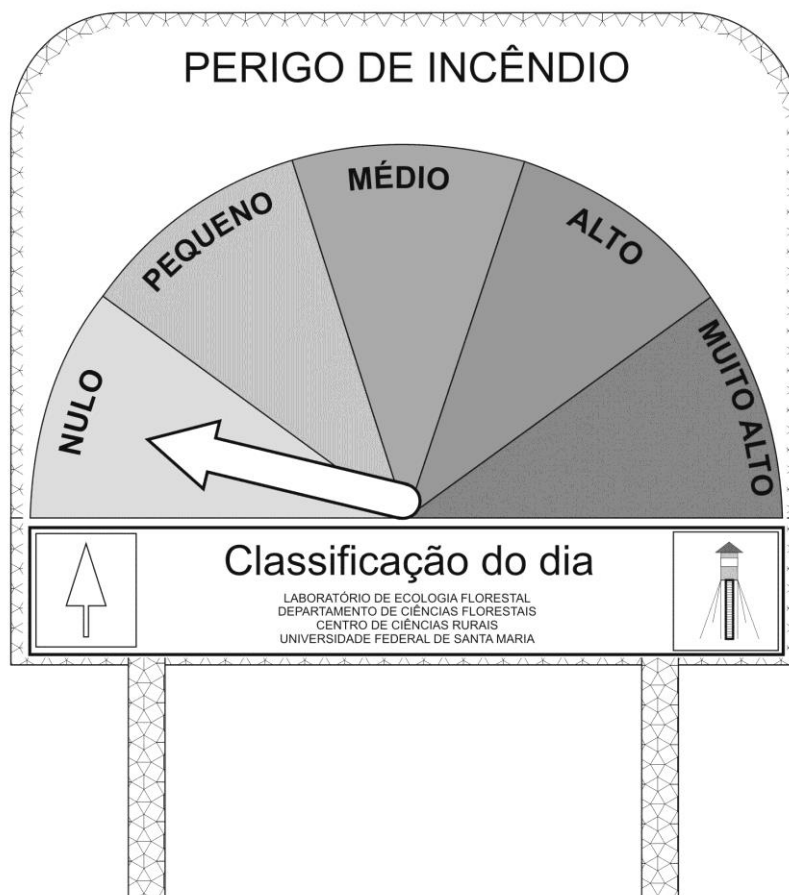
(conclusão)

<b>Índice de perigo</b>	<b>Aplicações</b>
Planejamento do controle de incêndios	À medida que os valores dos índices aumentam, devem ser intensificadas as medidas preventivas de pré-supressão ao fogo. Porém, quando os índices indicam que não existe perigo ou que ele é pequeno, as medidas de prevenção e prontidão podem ser atenuadas, reduzindo os custos das operações de controle.
Permissão para queimas controladas	De acordo com o código florestal, as queimas controladas só podem ser feitas mediante autorização do poder público. O índice de perigo de incêndio deve ser um dos fatores fundamentais para a concessão de permissão para queima. Quando o perigo é alto ou muito alto, não devem ser permitidas as queimas, pois o fogo pode escapar e transformar as queimas controladas em incêndios incontroláveis.
Estabelecimento de zonas de perigo	O acompanhamento dos índices, durante certo tempo, em grandes regiões, permite estabelecer as zonas potencialmente mais perigosas ou propícias à ocorrência de incêndios. Considera-se que o limite da validade e segurança dos índices é de 40 Km de raio em torno da estação meteorológica que fornece os dados. Portanto, em um Estado como o Paraná, devem-se esperar diferenças significativas entre o grau de perigo das suas diversas regiões.
Previsão do comportamento do fogo	Os índices que estimam também a propagação e o potencial de danos fornecem uma boa ideia do comportamento do fogo, caso ocorra um incêndio. Mesmo os índices de ocorrência embora mais limitados, podem também dar uma indicação do que se deve esperar em termos de comportamento do fogo, que será certamente distinto se o incêndio ocorrer em um dia de perigo médio ou muito alto, por exemplo.
Advertência pública do grau de perigo	A divulgação dos valores dos índices, através dos meios de comunicação disponíveis, é importante para que as pessoas que trabalham na floresta ou a usam como recreação tenham conhecimento do grau de perigo de incêndio. Esse conhecimento, acompanhado de outros esclarecimentos, ajuda a formar na população uma maior conscientização para os problemas que os incêndios podem causar às florestas.

Fonte: Adaptado de Soares (1972).

Segundo Soares e Batista (2007), uma ferramenta que pode ser usada na divulgação dos valores dos índices calculados são os painéis que indicam o grau de perigo de incêndios (Figura 46). Esses painéis devem ser colocados em pontos estratégicos, permitindo o acesso às informações ao maior número possível de pessoas.

Figura 46 - Painel de indicação do grau de perigo, conforme dados obtidos pela fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA<sup>+</sup>)



Fonte: Adaptado de Goldammer (1982).

## 9 COMBATE A INCÊNDIOS FLORESTAIS

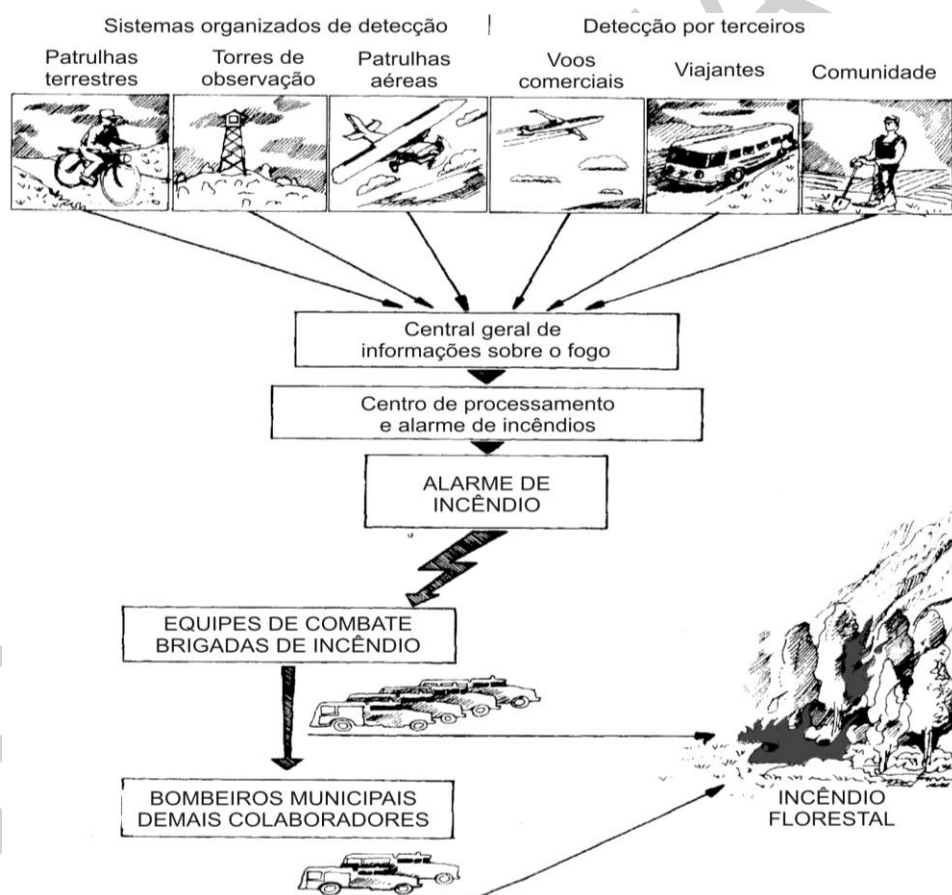
Como mencionado anteriormente, primariamente deve-se centralizar os esforços nas medidas e ações para evitar a ocorrência e propagação dos incêndios. Além da prevenção, essas medidas são de vital importância no trabalho de combate aos incêndios, visto que impedir totalmente que os incêndios ocorram é praticamente impossível.

O combate, propriamente dito, não é a primeira etapa a ser tomada quando da existência de um incêndio. Segundo Soares e Batista (2007), na verdade, a operação de combate ou supressão do fogo envolve seis etapas distintas: detecção, comunicação, mobilização, deslocamento, planejamento do combate e combate ao incêndio.

## 9.1 DETECÇÃO DOS INCÊNDIOS

A detecção é o tempo decorrido entre a ignição ou início do fogo e o momento em que ele é visto por alguém. A eficiência na visualização, ou seja, uma rápida detecção possibilita o controle do fogo antes que ele tenha se propagado ou que se desenvolva a altas intensidades (Figura 47). Quanto menor o intervalo de tempo entre o início do fogo e o começo do ataque, mais fácil será seu controle (RIBEIRO, 2002).

Figura 47 - Relação entre os sistemas de detecção, comunicação e mobilização orientados ao combate de incêndios



Fone: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

Conforme Soares e Batista (2007), os dois principais objetivos que devem nortear os sistemas de detecção são: a) descobrir e comunicar ao responsável pelo combate todos os focos de fogo em no máximo 15 minutos após seu início; b)

precisão na localização do fogo para permitir uma rota eficiente ao pessoal que realizará o combate (é recomendado não cometer erros superiores a 500 m).

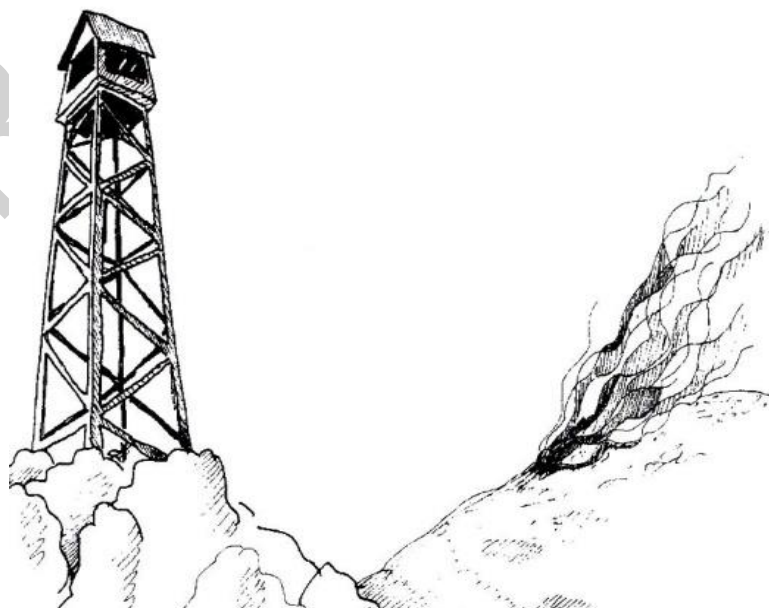
A detecção pode ser feita por meio de vigilância terrestre, por observação de torres ou locais de boa visibilidade e com o auxílio de aeronaves ou equipamentos automatizados, como sensores, satélites, etc.. Soares e Batista (2007) classificam os sistemas de detecção em móveis (patrulhamento aéreo ou terrestre) ou fixos (pontos fixos de observação ou rastreamento).

Cabe aqui salientar que, normalmente, os meios fixos de detecção necessitam de maior investimento na sua implantação e, relativamente, baixo custo de manutenção. Ao contrário, os meios de detecção móveis possuem baixo custo de implantação e elevados custos de manutenção, tendo seu uso recomendado nos períodos reconhecidamente críticos.

#### 9.1.1 Torres de observação

A torre de observação é o meio mais prático e eficiente de detecção e localização de incêndios florestais. Geralmente são constituídas de ferro ou madeira (Figura 48), tendo uma cabine fechada, com visibilidade para todos os lados, onde permanece o operador ou vigilante.

Figura 48 - Torre de observação



As principais vantagens na utilização de torres são: maior durabilidade, menor custo de manutenção (porém com um considerável custo de implantação) e a facilidade de realocação quando necessário (SOARES; BATISTA, 2007).

Em locais onde o relevo permita, é possível optar-se pela instalação de abrigos, que são de custo menor. Esses abrigos podem ser alocados em topos de morros, por exemplo, possibilitando uma grande economia de recursos e maior facilidade de operacionalização.

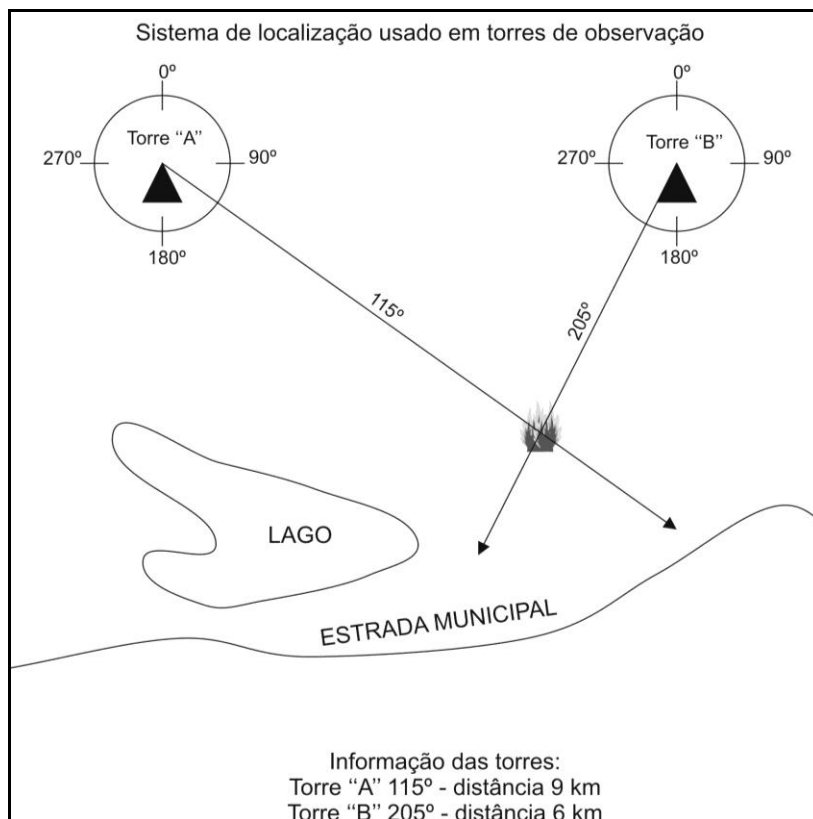
Conforme Goldammer (1982), a rede de pontos de observação deve cobrir toda a área florestal. Segundo Ribeiro (2002), a altura da torre vai depender da topografia e da vegetação; quanto mais plana a área, mais alta será a torre, podendo alcançar 40 m de altura.

Cada ponto de observação ou torre deve estar equipado com diversos aparelhos como: rádio de comunicação, binóculos, livro de ocorrências e aparelhos para determinação da localização do incêndio. A localização pode ser realizada com goniômetros, que são de baixo custo e servem para determinação do azimute ou ângulo horizontal. Outro aparelho é o goniômetro tipo Osborne, mais preciso e mais caro; no entanto, permite a localização sem a necessidade de triangulação de mais de uma torre, isto é, permite a localização a partir de apenas um ponto de observação. Na Figura 49, é possível verificar um exemplo de triangulação realizado a partir de duas torres de observação.

Fatores como as características físicas da área e as condições de visibilidade são determinantes na distribuição dos pontos de observação. A distância visual máxima de um ponto de observação situa-se entre 8 a 15 km. Considerando-se uma capacidade visual média, cada torre pode cobrir eficientemente uma área de 8.000 a 20.000 ha, dependendo principalmente do relevo. Quanto mais acidentado, maior será o número de torres; estima-se que uma cobertura de 70 a 80% da área seja suficiente, já que seria difícil cobrir 100% da área (SOARES; BATISTA, 2007).

O goniômetro consiste em um simples medidor de ângulos horizontais, composto de um visor, ao qual está acoplado um indicador, ambos dotados de movimento circular e montados sobre um círculo graduado fixo. Esse aparelho deve ser instalado com o zero do círculo graduado orientado para o norte magnético. Como mencionado anteriormente, o goniômetro tipo “Osborne”, além de determinar o azimute, estima a distância da torre até o incêndio.

Figura 49 - Localização de incêndios pela triangulação, a partir de torres de observação



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

### 9.1.2 Detecção por satélites

Diversas são as formas de detecção de incêndios florestais que podem ser utilizadas. Dependendo das características do local, principalmente da extensão da área a ser monitorada, pode-se optar por outros meios de detecção.

Para grandes extensões territoriais, o monitoramento dos incêndios florestais através de imagens de satélites é o meio mais eficiente e de menor custo, quando comparado com os demais meios de detecção. O planejamento nacional das atividades de controle de incêndios florestais, o disciplinamento das atividades de uso do fogo controlado, bem como a avaliação dos efeitos do fogo sobre a atmosfera só são viáveis através do monitoramento por satélite. Portanto, as informações obtidas devem ser de qualidade e confiáveis (BATISTA, 2004).

O lançamento em 1972 do primeiro satélite Landsat possibilitou detectar alterações nas áreas florestais através do espaço. Desde então, as imagens termais



e do infravermelho médio têm sido usadas na detecção de incêndios e estudos de mapeamento, permitindo que áreas queimadas e não queimadas sejam detectadas através do contraste entre os gradientes térmicos (REMMELE; PERERA, 2001 apud BATISTA, 2004). Segundo Pantoja e Brown (2007), atualmente, há vários sensores orbitais e aéreos que podem ser usados para a detecção de queimadas.

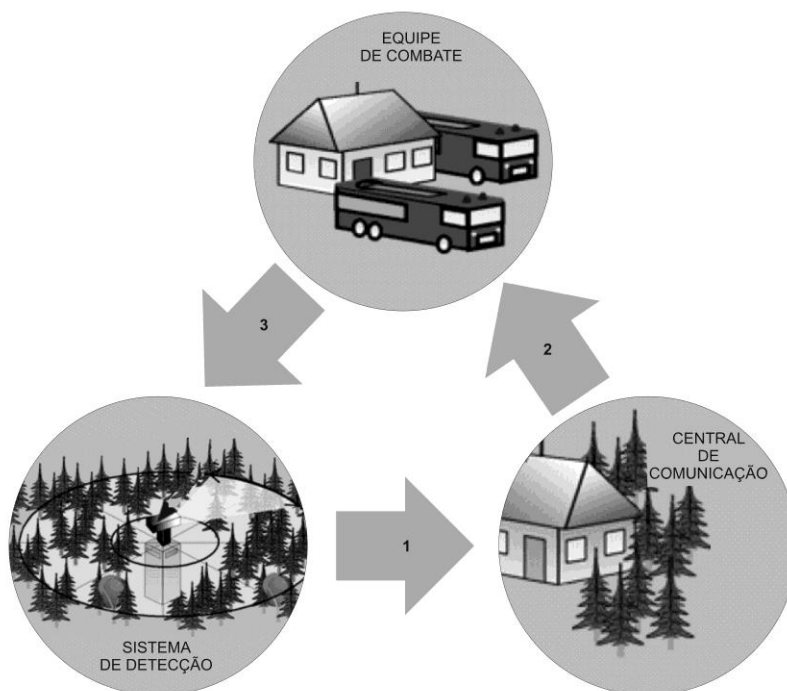
Outros equipamentos utilizados, denominados Sistemas Auxiliares de Detecção, são compostos por equipamentos sensíveis, que captam o calor através de sensores infravermelhos, ultrassons, células fotoelétricas e a partir de gases liberados pelo fogo. Normalmente são utilizados em áreas com grandes extensões e pouco relevo, população reduzida e áreas de grande importância. Como vantagens apresentam: detecção automática, monitoramento contínuo e controle remoto dos sistemas. Em Portugal, por exemplo, são utilizados aviões elétricos não tripulados, que têm processamento computacional a bordo, enviando um sinal de alerta para a estação base quando detectam um foco de incêndio. Eles têm a capacidade de detectar focos de incêndio com menos de 2 m<sup>2</sup>.

## 9.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

É na central de comunicação que ocorre a determinação do local do incêndio. A localização é feita a partir das informações fornecidas pelos sistemas de detecção. Quando as informações recebidas são os ângulos medidos pelos goniômetros, é na central de comunicação que se procede a localização, feita pelo sistema de coordenadas, sobre um mapa da área onde estão desenhados os círculos graduados, correspondentes aos goniômetros das torres, com a mesma orientação, isto é, os zeros na direção do norte magnético (SOARES; BATISTA, 2007).

Um sistema de comunicação eficiente é fundamental para garantir a correta realização das operações de combate (Figura 50). Diversos são os equipamentos que podem ser utilizados: telefone, rádio, internet, etc., cada um com suas peculiaridades (custos, eficiência). Segundo Soares e Batista (2007), o rádio apresenta uma grande vantagem, que é a sua flexibilidade, pois permite a comunicação simultânea entre várias torres, a central de comunicação e as equipes de combate.

Figura 50 - Sistema de comunicação, onde são processadas as informações e acionadas as equipes de combate



Fonte: Schumacher et al. (2013).

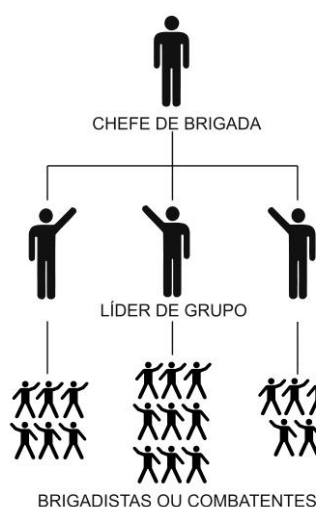
### 9.3 EQUIPES DE COMBATE

As brigadas ou equipes de combate, geralmente, são compostas por pessoas que trabalham normalmente na organização florestal, desempenhando outras funções, porém, sendo requisitados sempre que existir um alarme de incêndio. As pessoas que formam uma brigada devem receber um treinamento especial e periódico em técnicas de combate e uso de equipamentos. Essa estrutura de brigadas ou equipes são as unidades básicas de combate a incêndios (SOARES; BATISTA, 2007).

Dentro da estrutura de uma brigada, é fundamental a existência de uma hierarquia, para que haja organização e eficiência nos trabalhos de combate. Normalmente, a chefia é ocupada apenas por uma pessoa; essa deve conhecer a área e também os métodos de combate, cabendo-lhe toda a responsabilidade pelas decisões. No caso de haver a cooperação de outras brigadas ou colaboradores, deve-se manter a estrutura original da brigada, apenas incorporando os novos componentes, sob o mesmo comando (RIBEIRO, 2002).

Na Figura 51, é apresentada a estrutura básica de uma brigada de incêndio. Ela é dividida em três classes: chefe de brigada, líder de grupo e o combatente ou brigadista. Cada brigada deve ter no mínimo 3 e no máximo 14 brigadistas, chefiados por um líder de grupo que, por sua vez, poderá chefiar mais de uma brigada (equipe de combatentes).

Figura 51 - Organização hierárquica de uma brigada de incêndios



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Segundo Ribeiro (2002), os componentes da brigada possuem as seguintes obrigações: a) Chefe da brigada: organizar e dirigir os recursos; determinar as chefias para as funções; estabelecer estratégias e táticas de combate; programar necessidades de recursos; instruir no plano de combate; planificar e revisar as ações de combate; garantir e zelar pela segurança e bem-estar dos combatentes e manter informada a central de operações. b) Líder de grupo: responsável para que as ferramentas, os equipamentos, os alimentos e o pessoal estejam sempre prontos; instruir os combatentes sobre onde e como estabelecer a linha de fogo; supervisionar a brigada e garantir o adequado uso de equipamentos e ferramentas; garantir a segurança dos combatentes; manter informado o chefe de brigada e supervisionar a correta desmobilização das pessoas e equipamentos. c) Combatentes: construir a linha de fogo de acordo com as ordens do líder de grupo, trabalhando de forma segura e eficiente; sustentar a linha de fogo; realizar as obrigações e fazer bom uso dos equipamentos e roupas.








O treinamento, além de capacitar os brigadistas, proporciona um maior entrosamento, facilitando o trabalho. Esses treinamentos devem ser periódicos, e intensificados durante os três meses que antecedem o período crítico (estação de fogo); devem ser direcionados à capacitação técnica e física, ou seja, devem proporcionar aos combatentes o conhecimento das técnicas de combate e o uso de equipamentos, além de promover o adequado condicionamento físico (RIBEIRO, 2002).

### 9.3.1 Equipamentos de proteção individual (EPI)

Visando evitar acidentes, garantir o conforto e manter a integridade física dos brigadistas, deve-se fornecer os EPI's necessários à realização das atividades aos brigadistas. O combatente deve estar preparado para a exposição a altas temperaturas, gases, etc.; para tanto, seus equipamentos e vestimentas devem ser resistentes a altas temperaturas, e devem estar sempre em bom estado e prontos para o uso (RIBEIRO, 2002).

No Quadro 13, são ilustradas as principais vestimentas e equipamentos necessários à proteção dos combatentes.

Quadro 13 - Vestimentas e equipamentos básicos para proteção individual

 Capacete	 Luvas	 Óculos	 Roupa	 Protetor auricular
 Cantil	 Máscara	 Botas	 Manta Aluminizada	
 Toalha	 Lanterna	 Cinturão	 Apito	 Caixa de primeiros socorros

Fonte: Schumacher et al. (2013).

Fazem-se necessárias algumas observações quanto à composição e utilização dos mesmos: a) as roupas devem ser feitas de material resistente ao fogo (“nomex”), ou então de algodão, e nunca de material sintético como o “nylon”. b) as luvas devem ser de couro e com mangas longas. c) o apito e a manta aluminizada são usados em situações de emergência. d) todas as peças devem permanecer guardadas em local de fácil acesso e estar com o nome do combatente. e) o kit básico de primeiros socorros deve conter no mínimo: água oxigenada, soro fisiológico, álcool, algodão, aspirina, bicarbonato, bolsa de água quente, bolsa de gelo, esparadrapo, gases esterilizadas, antisséptico, pinças, seringas descartáveis para injeções, tiras para ataduras, tônico cardíaco e soro antiofídico, tala moldável, tesoura e luvas de procedimento.

### **9.3.2 Primeiros socorros**

Por se desenvolverem em ambientes de precipitação e nervosismo que exigem ações emergenciais e rápidas, não se pode excluir a possibilidade de ocorrência de acidentes. Em situações imprevisíveis, é fundamental seguir algumas normas básicas de segurança e tratamento com o acidentado em combate a campo:

- a) Em qualquer situação, transmitir/demonstrar à vítima calma e serenidade;
- b) Inicialmente, verificar as condições do acidentado e o tipo de acidente ocorrido: se queimadura, contusão, asfixia, hemorragia, envenenamento, ferida, deslocamento, fratura, convulsão, ataque nervoso, mordida de serpente, picada de inseto, etc;
- c) Manter o acidentado em posição horizontal;
- d) Se houver necessidade de movê-lo, fazer com o máximo de cuidado;
- e) Se a vítima estiver vomitando, colocá-la de lado, com o máximo de cuidado;
- f) Se for necessário transportar a vítima no meio da floresta, improvisar maca, sacos e transportá-la acima do ombro, caminhando compassadamente para eliminar os efeitos do balanço. No caso de utilizar veículos, manter uma velocidade adequada, que evite saltos e movimentos bruscos;
- g) Se o acidentado estiver consciente, oferecer-lhe bebidas estimulantes, chá ou café quente com açúcar;

A seguir, destacamos algumas urgências e cuidados especiais que devem ser observados em acidentados:

- a) Os casos de asfixia devem ser tratados com a máxima urgência;
- b) As hemorragias também exigem urgências e cuidados especiais;
- c) No envenenamento, além de ser um caso de extrema urgência, é imprescindível investigar as suas causas para solicitação do antídoto apropriado;
- d) Nos casos de queimaduras, verificar a gravidade, extensão e profundidade da lesão;
- e) Lavar os ferimentos, desinfetando-os com água oxigenada ou água e sabão neutro e, posteriormente, procurar o médico para aplicação de injeção antitetânica, se for o caso;
- f) Nas convulsões e desmaios, afrouxar ou tirar a roupa da vítima, cobri-la com uma manta, aplicar-lhe panos com água fria na cabeça e, se necessário, fazer respiração artificial boca a boca;
- g) Aplicar compressas de água fria nas áreas lesadas por contusões;
- h) Quando ocorrer deslocamento de algum membro, é necessário imobilizá-lo enquanto se aguarda o atendimento médico;
- i) Se as fraturas ou rupturas de algum osso vierem acompanhadas de ferida exposta, serão facilmente reconhecidas pela dor, inchaço, deformidade e impossibilidade de movimentação. Nesses casos, deve-se também imobilizar o acidentado, provisoriamente, até o pronto atendimento médico;
- j) Ataque nervoso: as pessoas acometidas de ataque nervoso devem ser afastadas do grupo e das ferramentas, envolvendo seus rostos com uma toalha molhada, quando necessário;
- k) Picadas e mordidas: quando ocorrerem incidentes com animais peçonhentos, procurar o atendimento médico mais próximo.

### **9.3.3 Equipamentos básicos usados no combate**

Antes de iniciar a temporada ou período de maior intensidade dos incêndios florestais, é necessária uma manutenção geral em todos os equipamentos de uso nessa atividade, verificando se estão em perfeitas condições de utilização. Deve-se:

- a) Utilizar sempre ferramentas adequadas para a função certa;







- b) Guardar e acondicionar cada ferramenta de forma adequada;
- c) Conservar em bom estado todas as ferramentas;
- d) Ao transportá-las, acondicioná-las de forma adequada;
- e) Embalar todas as ferramentas perigosas ou defeituosas;
- f) Utilizar roupas de proteção e luvas, quando for necessário.

Conforme Ribeiro (2002), as ferramentas, assim como os equipamentos de segurança que não apresentarem condições satisfatórias de conservação, devem ser trocados imediatamente ou consertados pelo responsável do setor de conservação e organização do almoxarifado. O uso de ferramentas inadequadas pode provocar numerosos acidentes e estragá-las. No mesmo sentido, os brigadistas devem conhecer os corretos métodos de trabalhos.

No Quadro 14, verifica-se o ferramental básico para uso da brigada de incêndio durante o trabalho de combate ao fogo.





Quadro 14 - Identificação e descrição funcional das ferramentas e equipamentos básicos, usados no combate a incêndios florestais

(continua)

Ilustração	Nome	Usado para:	Ilustração	Nome	Usado para:
	Enxada e enxadão	Raspar, cavar e soltar a terra; capinar; cortar raízes; raspar a superfície de troncos e de toras em brasa.		Machado ("Pulaski" machado e picareta)	Cortar árvores em pé ou caídas e abrir linhas de corta fogo
	Facão	Abrir trilhas; cortar arbustos; abrir aceiros.		Pinga-fogo	Atear fogo (contra fogo)
	Foice (fio reto ou curvo)	Cortar ramos, arbustos e o mato alto.		Abafador	Sufocar o fogo (com golpes secos, sempre na direção o fogo, mantendo sobre o fogo por instantes)

Quadro 14 - Identificação e descrição funcional das ferramentas e equipamentos básicos, usados no combate a incêndios florestais

(conclusão)

Ilustração	Nome	Usado para:	Ilustração	Nome	Usado para:
	<b>Pá (cortante)</b>	<b>Raspar o solo; soltar, quebrar e lançar terra para sufocar o fogo;</b>		<b>Caixa de primeiros socorros</b>	<b>Armazena o material usado no atendimento a vítimas do fogo.</b>
	Ancinho	Limpeza final do aceiro, retirada de restos de galhos, folhas e outros.		Mochila ou bomba costal	Borrifar ou lançar jatos direcionados de água.
	Rastelo ("Mcloud" Combinação de enxada e ancinho)	Mesmo uso da enxada e do ancinho; "ferramenta mais pesada".		Lanterna	Deve ser de material resistente ao fogo.







Fonte: Adaptado de Ribeiro (2002).

### 9.3.4 Material auxiliar usado no combate

Dependendo dos recursos direcionados ao combate do incêndio, os combatentes podem lançar mão do uso de diversos equipamentos, aqui chamados de auxiliares (Quadro 15).

Quadro 15 - Aspecto de alguns materiais e equipamentos auxiliares usados no combate ao fogo

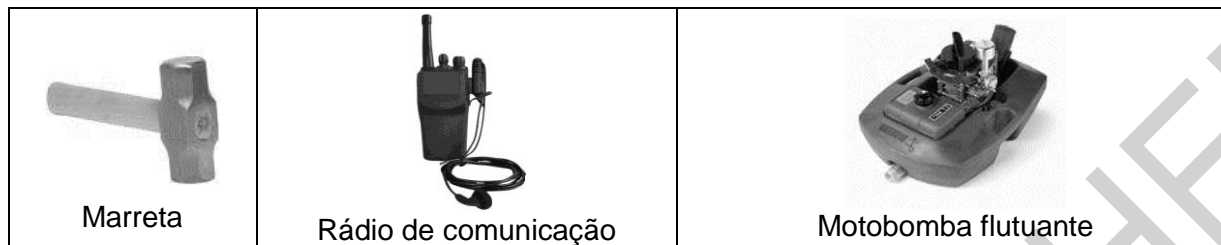
(continua)

		
Motobomba	Motosserra	Cunhas e alavanca
		
Bússola	Roçadeira costal	Ferramentas para manutenção



Quadro 15 - Aspecto de alguns materiais e equipamentos auxiliares usados no combate ao fogo

(conclusão)



Fonte: Schumacher et al. (2013).

Os equipamentos motorizados como motobombas, motosserras e roçadeiras proporcionam maior facilidade e rapidez na realização de determinadas atividades. Desde que haja a disponibilidade de água em reservatórios naturais ou artificiais, as motobombas são úteis na aplicação de retardantes ou água, além de bombearem água de locais baixos até locais mais altos, onde os brigadistas teriam dificuldade de conseguir água para o abastecimento de suas bombas costais, por exemplo.

### 9.3.5 Aeronaves e outros equipamentos

Aviões e helicópteros são particularmente úteis no lançamento de grandes quantidades de água ou de retardantes químicos sobre o fogo. Entre as finalidades do combate aéreo a incêndios florestais, destacam-se: patrulhamento aéreo da área a ser protegida; ataque rápido ao incêndio, antes que adquira tamanho e violência; combate ao incêndio em terrenos inacessíveis às equipes de terra; descarga de grandes quantidades de água ou de retardantes químicos sobre o incêndio e em curtos intervalos de tempo; mudança rápida de um incêndio a outro, extinguindo focos iniciais distantes entre si e protegendo homens e materiais; transporte de homens e equipamentos de combate terrestre.

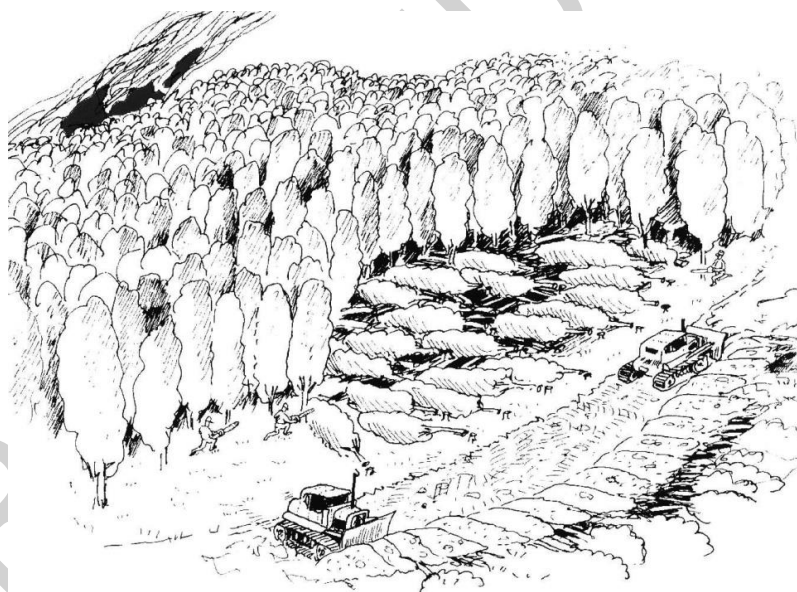
Segundo Soares e Batista (2007), os aviões mais modernos podem carregar cerca de 6,0 toneladas de água, sem precisar pousar para reabastecer. O processo de reabastecimento pode ser realizado em uma superfície de água com 1.200 m de comprimento, 2 m de profundidade e um acesso que permita aproximadamente 10 segundos de contato com a água. Os helicópteros, através de baldes ou de tanques

fixados na fuselagem, podem carregar de 400 a 1.500 litros de água, podendo ser reabastecidos em qualquer superfície de água.

Outra utilização de aeronaves, além das operações de combate, é o patrulhamento aéreo para a detecção de focos de fogo ou para a vigilância durante as atividades de rescaldo. É interessante observar que não se devem dispensar as estratégicas torres de observação implantadas em terra, pois as patrulhas aéreas complementam a sua ação.

Outros equipamentos, como motoniveladoras e tratores de esteira, são de extrema importância para agilizar a construção de aceiros, durante as atividades de prevenção ou durante as atividades de combate (Figura 52). Carros-tanque, reboques, tanques estacionários são importantes aliados para o suprimento de água às equipes de combate.

Figura 52 - Uso de trator de esteiras na abertura de aceiros



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Juvélius (2007).

No Quadro 16, são ilustrados algumas aeronaves e equipamentos utilizados no combate a incêndios.

### Quadro 16 - Aeronaves e outros equipamentos utilizados no combate a incêndios florestais

 <p>Avião-tanque</p>	 <p>Helicóptero e balde ("Bambi bucket")</p>
 <p>Motoniveladora</p>	 <p>Trator de esteiras</p>
 <p>Unidade de ataque rápido ("Inforest")</p>	 <p>Caminhão bombeiro</p>

Fonte: Schumacher et al. (2013).

## 9.4 MOBILIZAÇÃO DO PESSOAL

Para Soares e Batista (2007), mobilização é o intervalo de tempo gasto entre o recebimento da informação da existência do fogo e a saída do pessoal para o combate. Após a localização do incêndio, é de extrema importância que a mobilização da brigada de incêndio seja realizada de forma rápida e organizada. Nesse sentido, os treinamentos são de extrema relevância, pois neles, o responsável pela ação inicial de combate deve definir claramente as atribuições e responsabilidades de cada componente da brigada.

A prontidão não só dos integrantes da brigada, mas também das ferramentas e equipamentos, é crucial na redução do tempo de mobilização. Conforme Ribeiro (2002), o tempo de viagem, normalmente, é o ponto crítico da mobilização. A disponibilidade e a situação das vias de acesso à frente do fogo interferem diretamente no tempo de deslocamento da equipe. Na maioria das vezes, esses acessos ou estradas se encontram em estado de abandono ou de precária manutenção.

Os veículos terrestres simples, ou com tração nas quatro rodas, levam vantagem no transporte dos combatentes em locais com uma boa malha viária. Em alguns casos, faz-se necessária a utilização de aviões e helicópteros, que eficazmente acessam locais distantes e sem acessos terrestres (CIANCIULLI, 1981).

Durante o trajeto até a linha de fogo, deve-se evitar o transporte de equipamentos e ferramentas no mesmo veículo onde viajam os brigadistas. Ainda no almoxarifado, a operação de transporte dos materiais até os veículos necessita de cuidado por parte dos brigadistas, visando evitar acidentes. Normalmente, um homem fica em cima do veículo e distribui inicialmente as ferramentas cortantes e, posteriormente, com cuidado os equipamentos mais frágeis, como as bombas costais (RIBEIRO, 2002).

## 9.5 TÉCNICAS DE COMBATE

Como visto anteriormente, no item onde falamos sobre o triângulo do fogo, não existe fogo se não existir um dos lados do triângulo, ou seja, oxigênio, fonte de calor ou combustível. Portanto, o princípio básico para extinção do fogo é a retirada de um dos três elementos do triângulo do fogo, de maneira rápida e eficiente. Para retirada do material combustível, pode-se fazer um aceiro; já o oxigênio, pode ser reduzido com o uso de abafadores ou terra, e o calor pode ser reduzido com a utilização de água com ou sem produtos químicos.

Segundo Soares e Batista (2007), o ataque a um incêndio florestal pode ser realizado com uma ou mais equipes de combate e, normalmente, dependendo da intensidade do fogo, são utilizados três métodos: direto, paralelo e indireto.

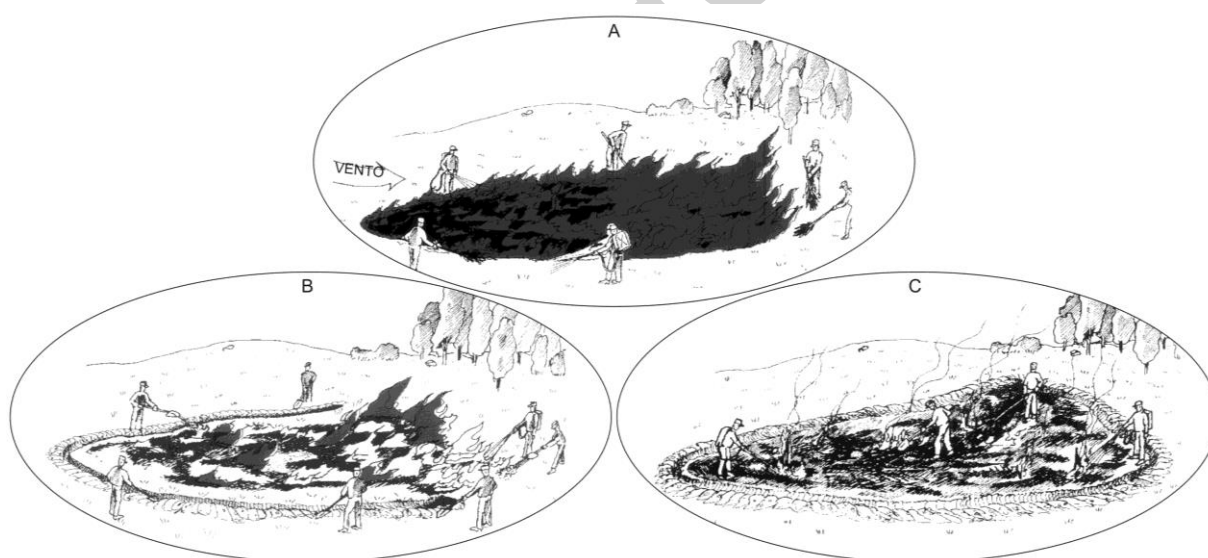
Estes métodos apresentam como semelhança o fato de usarem linhas ou barreiras de contenção. É necessário esclarecer que a escolha do melhor método deve considerar as seguintes características: o caráter do incêndio; as variações no seu desenvolvimento; a topografia e o tipo de solo; as barreiras naturais existentes; o número de combatentes disponíveis; e os recursos hídricos disponíveis para o combate (CIANCIULLI, 1981).

### 9.5.1 Método direto de combate a incêndios florestais

Esse método é utilizado em incêndios superficiais, em locais com baixa quantidade de material combustível disponível; assim, o fogo não desenvolverá altas intensidades, permitindo a aproximação direta dos combatentes. Os principais equipamentos utilizados são abafadores, bombas costais, pás e, se possível, motobombas.

A extinção do fogo ocorre diretamente pelo abafamento, ou seja, redução do oxigênio disponível, ou pela diminuição do calor, realizada com a utilização de água e das bombas costais. Podem-se usar simultaneamente, com dois brigadistas, os dois princípios ao mesmo tempo, sendo que, o ataque pode ser realizado na parte frontal ou cabeça do incêndio, ou começar pela base e trabalhar pelos flancos até chegar à cabeça (Figura 53) (SOARES; BATISTA, 2007).

Figura 53 - Aplicação do método direto de combate a incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Para que o método seja eficiente, conforme Cianciulli (1981), devem ser observados os seguintes passos: limpeza de uma faixa ou aceiro, suficientemente largo, para que os combatentes possam realizar seus movimentos livremente; limpar as beiradas do fogo, em sua parte exterior, atirando o material combustível para seu interior; vigiar a linha de contenção, a fim de extinguir qualquer foco que possa se

originar; aproveitar as primeiras horas da madrugada, ou as últimas da tarde, para queimar os combustíveis que ainda estiverem disponíveis. No Quadro 17, são apresentados os principais riscos, vantagens e desvantagens desse método.

Quadro 17 - Principais riscos, vantagens e desvantagens do método direto

<b>Principais riscos aos combatentes*</b>	<b>Vantagens**</b>	<b>Desvantagens**</b>
Exposição ao calor intenso, podendo causar queimaduras e asfixia.	Rápida redução na disponibilidade de material combustível.	Exposição dos combatentes a riscos;
Emissão de fagulhas, que podem originar focos secundários, cercando o combatente.	Evita a propagação do incêndio.	A vigilância do pessoal torna-se difícil; o patrulhamento é dificultado, normalmente por tratar-se de locais de difícil acesso.
O trabalho em conjunto pode ocasionar acidentes por falta de espaço.		
Exigência de maior esforço dos combatentes, causando cansaço e fadiga prematura.	Evita a transformação de incêndios superficiais em incêndios de copa.	Caso um homem não cumpra bem a sua função, pode ocasionar a propagação do fogo, prejudicando o trabalho de toda a brigada.
Deslocamentos perigosos de combatentes em topografias abruptas, especialmente em trabalhos noturnos.		

Fonte: Autores.

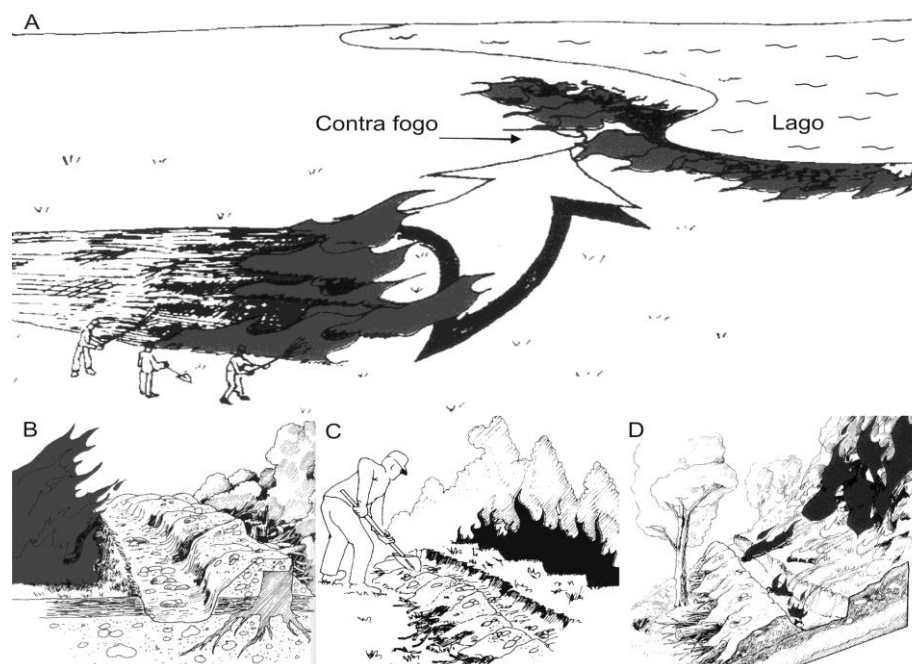
Legenda: \* dados retirados de Ribeiro (2002) e \*\* dados retirados de Cianciulli (1981).

### 9.5.2 Método paralelo de combate a incêndios florestais

Trata-se de um método intermediário, entre o direto e o indireto. É usado quando o calor produzido pelo fogo não permite diretamente a aproximação dos combatentes para a realização de um ataque direto. Esse método consiste na rápida construção de um pequeno aceiro de 0,5 a 1,0 m de largura, disposto paralelamente à linha de fogo (Figura 54). No encontro do fogo com o aceiro, ocorre a diminuição da intensidade, possibilitando o ataque diretamente às chamas, como já mencionado no método direto de combate (SOARES; BATISTA, 2007).

Segundo Cianciulli (1981), nesse método, a linha de contenção é estabelecida a uma distância que varia de 3 a 15 m da beira do fogo, e por meio de um contra fogo, pode-se queimar a parte que vai da linha de contenção até a beira do fogo, proporcionando maior facilidade no trabalho de extinção das chamas.

Figura 54 - Aplicação do método paralelo de combate a incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvelius (2007).

As principais vantagens e desvantagens desse método podem ser visualizadas no Quadro 18.

Quadro 18 - Principais vantagens e desvantagens do método paralelo de combate a incêndios

Vantagens	Desvantagens
É possível dominar incêndios que desenvolvem muito calor e fumaça.	Caso não sejam adotadas as medidas de prevenção, o contra fogo pode se tornar uma faca de dois gumes e se transformar em um perigo ainda maior
Torna-se possível passar aos métodos indicados anteriormente, se a intensidade do incêndio diminuir.	
Possibilita uma vigilância mais simples e reduz o perigo de que o fogo passe a linha de contenção	
Possibilidade de controle do contra fogo	

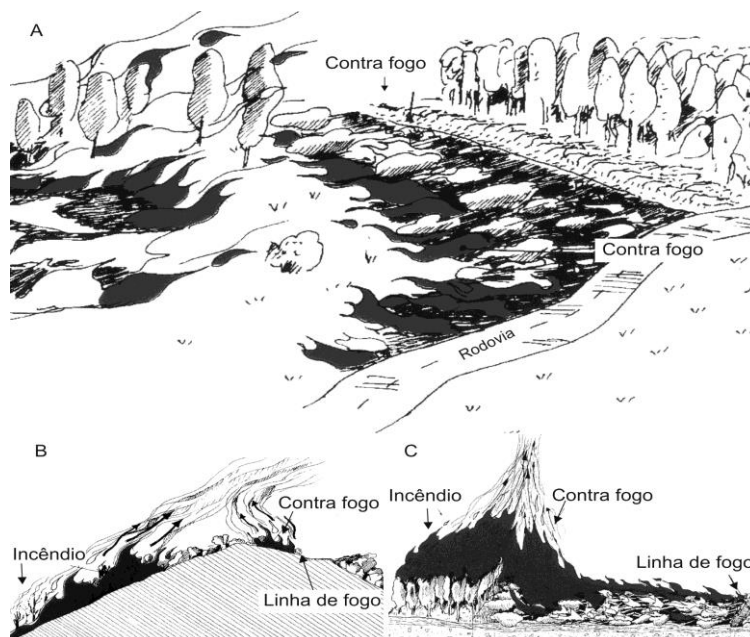
Fonte: Adaptado de Cianciulli (1981).

### 9.5.3 Método indireto de combate a incêndios florestais

Se existirem os três componentes do triângulo do fogo em abundância normalmente, e em condições climáticas favoráveis, caso ocorra a ignição, o fogo possivelmente desenvolverá grande intensidade e não permitirá a aproximação das

peessoas para realizar o combate ao incêndio. Soares e Batista (2007) recomendam, nesses casos, a abertura de um aceiro largo na frente do fogo e usar o contra fogo para ampliá-lo ainda mais (Figura 55).

Figura 55 - Aplicação do método indireto de combate a incêndios florestais



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Deve ser observada uma distância segura da frente de fogo, a fim de viabilizar a conclusão do serviço antes da chegada do incêndio. Outro aspecto que deve ser observado é a aplicação do rescaldo, isto é, apagar através do ataque direto todos os vestígios de fogo dentro da área queimada. No Quadro 19, podem-se visualizar mais algumas características desse método.

Ribeiro (2002) recomenda o uso do método indireto diante das seguintes situações: o calor impede o trabalho direto no limite do fogo; o comportamento do incêndio é imprevisível, apresentando rápida propagação, alta emissão de fagulhas, com a frente do fogo aumentada; a topografia é muito acidentada, dificultando o deslocamento do pessoal; a vegetação é densa, com alta possibilidade de propagação de incêndios de copa; o setor onde ocorre o fogo não justifica a ação pelo método direto de combate.



Quadro 19 - Principais vantagens e desvantagens do método indireto de combate a incêndios

Vantagens	Desvantagens
Os combatentes trabalham a uma grande distância do incêndio, não sofrendo com a ação do calor, assim podendo trabalhar com maior conforto e desenvoltura.	O trabalho deve ser rápido para permitir a correta ação do contra fogo.
	O fogo de encontro é de grande magnitude, devendo ser considerado e monitorado.
Podem-se incorporar como aceiros diversas situações naturais como barreiras ao fogo, diminuindo o tamanho da linha de aceiro a ser construída.	Ocorre um aumento considerável da área florestal queimada.
	Apresenta grande perigo à equipe de combate, por isso, deve ser usado somente em casos extremos.

Adaptado de Cianciulli (1981).

## 9.6 ESTRATÉGIAS USADAS NO COMBATE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Segundo Soares e Batista (2007), o responsável pela operação de combate ao incêndio deve realizar suas observações ao chegar ao local do fogo, planejando o ataque e determinando a técnica ou técnicas de combate mais indicadas para a situação. Em incêndios de grande magnitude, geralmente, todos os métodos de combate anteriormente comentados são utilizados. Conforme os mesmos autores, a intensidade do fogo é o fator determinante para a escolha do método de combate ao incêndio, pois ela condiciona a viabilidade de maior ou menor aproximação à linha de fogo (Figura 56).

Com a observação do comprimento das chamas, no local onde está ocorrendo o incêndio, é possível verificar a intensidade do incêndio e verificar as medidas necessárias ao seu combate (Quadro 20).

Quadro 20 - Relações entre o comprimento das chamas, intensidade e comportamento do fogo e indicações sobre os meios de combate

(continua)

Comp. das chamas (m)	Intens. do fogo ( $\text{kcal m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )	Indicações sobre comportamento do fogo e meios de combate
< 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.

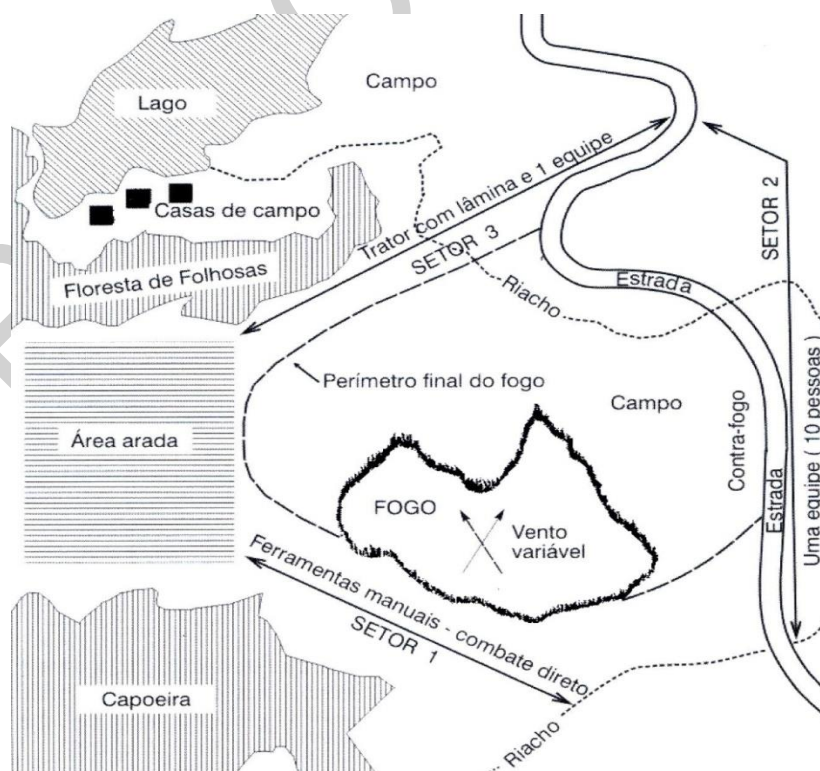
Quadro 20 - Relações entre o comprimento das chamas, intensidade e comportamento do fogo e indicações sobre os meios de combate

(conclusão)

Comp. das chamas (m)	Intens. do fogo (kcal m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	Indicações sobre comportamento do fogo e meios de combate
1,2 a 2,4	80 a 400	Os incêndios são muito intensos para usar o método direto. Axeiros manuais são consegues segurar o fogo. Equipamento para bombeamento de água e tratores com lâminas são necessários para combater o fogo.
2,4 a 3,3	400 a 800	Os incêndios podem apresentar sérias dificuldades de combate, como queima das copas e intenso fagulhamento. Os esforços para combater o incêndio pela frente podem ser ineficazes.
> 3	> 800	Incêndios extremamente violentos, com queima total da floresta e intenso fagulhamento. Nada se pode fazer para conter a frente de fogo; deve-se esperar por uma redução da intensidade do fogo, geralmente causada por mudanças climáticas.

Adaptado de Soares e Batista (2007).

Figura 56 - Exemplo de planejamento de combate a um incêndio florestal



Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

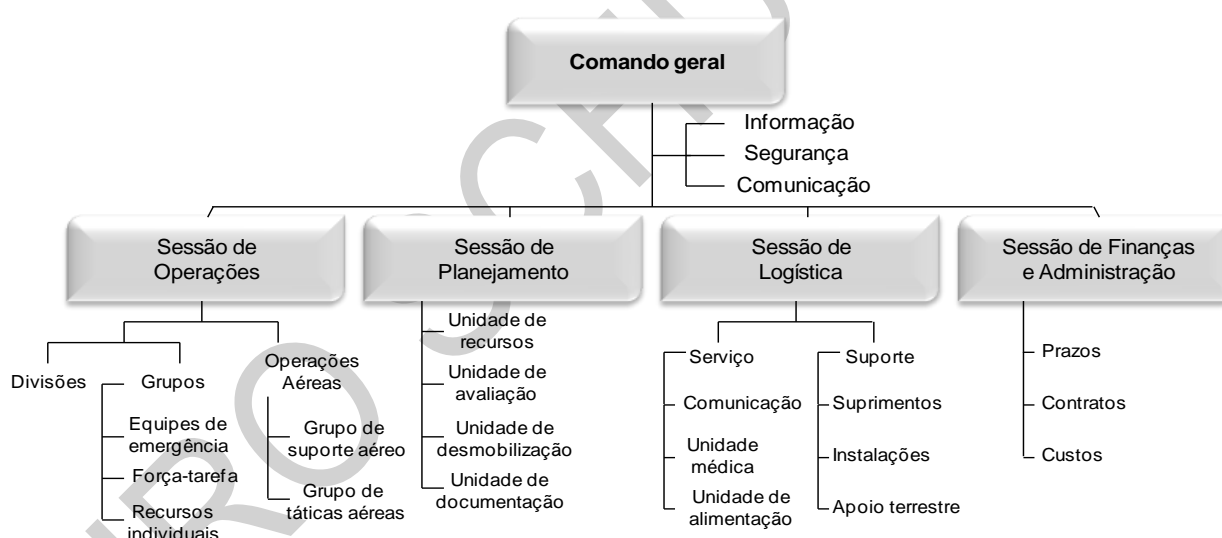
A seguir, é descrita uma sequência de atividades, proposta por Cianciulli (1981), como estratégia na organização do combate a incêndios:

- a) Preparação e ação inicial: estar de prontidão, com ferramentas e equipamentos organizados e prontos para o uso; realizar a mobilização de todos os recursos necessários, de forma eficiente, chegando rapidamente ao local da ocorrência; dirigir-se inicialmente aos pontos onde o fogo apresenta maior intensidade; tentar identificar desde o início das atividades as prováveis causas do incêndio, detendo o (s) culpado (s) se existir;
- b) Organização: respeitar a divisão da brigada, conforme a hierarquia estabelecida, definindo as tarefas de cada grupo de combatentes; quando houver necessidade, estabelecer um acampamento central, com setores e subsetores correspondentes;
- c) Plano de ataque: é indispensável o reconhecimento da área atingida pelo fogo, a fim de ordenar, com rapidez, a forma de ataque; além do reconhecimento e ordenamento, o chefe da brigada deve manter a vigilância sobre os homens e o avanço das atividades; preferencialmente, os trabalhos devem ser realizados durante o dia; os dirigentes do combate devem saber aproveitar todas as oscilações do fogo decorrentes das mudanças de direção do vento, etc.;
- d) Pontos de ataque: deve-se encurralar o fogo, diminuindo a intensidade do incêndio, transformando-o em focos pequenos e fracos; o ataque pode ser feito na cabeça ou na área de expansão adjacente; em incêndios de grandes proporções, o ataque é recomendado pelos flancos, em direção à cabeça do incêndio.
- e) Métodos de ataque: ao comando do combate, caberá a escolha do método ou forma de luta mais adequada, dependendo das circunstâncias observadas; prioritariamente, se fará a retirada de materiais de rápida combustão, que se encontram no caminho do fogo.
- f) Economia no combate: deve-se procurar eliminar o fogo rapidamente, antes que ele tome proporções incontroláveis; a utilização de recursos e pessoal deve ser suficiente para eliminar o fogo em poucas horas; para assegurar que o fogo não volte, é necessário manterem-se patrulhas de vigilância até a certeza da inexistência do fogo.

- g) Erros a serem evitados: demora em executar o combate; falta de avaliação e planejamento adequados; deixar de combater o incêndio ao amanhecer ou à noite; falta ou uso inadequado de equipamentos; falta ou despreparo de pessoal; não observar a contensão do fogo pelos flancos do incêndio; conhecer e fazer-se valer dos recursos hídricos presentes no local.

Como já apresentado anteriormente, a organização de todas as ações e recursos necessários ao combate do incêndio devem ser organizados de maneira que permitam agilidade e eficiência nas operações de supressão do fogo. No caso da ocorrência de incêndios de grandes proporções, essa organização faz-se ainda mais necessária. No fluxograma abaixo (Figura 57), verifica-se um sistema de organização para o combate de incêndios, proposto por Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

Figura 57 - Sistema de organização para o combate de incêndios



Fonte: Adaptado de Heikkilä, Grönqvist e Jurvélius (2007).

## 9.7 ÁGUA E RETARDANTES QUÍMICOS NO COMBATE DE INCÊNDIOS

Agentes extintores são substâncias destinadas à extinção dos incêndios. A água é o agente extintor mais utilizado, por ser muito eficiente e barato. A água atua de duas maneiras: resfriando o combustível pela sua alta capacidade de absorver calor, e pelo abafamento, eliminando o oxigênio do sistema (RIBEIRO, 2002).

No combate aos incêndios florestais, o problema é como obter água em quantidade suficiente, e como usá-la da maneira mais eficiente possível. Em incêndios superficiais de baixa ou média intensidade, quando as condições permitem o trabalho de bombeamento, a água é o meio mais rápido e prático para extinguir o fogo.

Em incêndios de maior intensidade, longe de estradas, a aplicação de água torna-se mais difícil e cara, somente podendo ser feita com o auxílio de longas mangueiras ou bombeamento aéreo. Porém, mesmo quando existem limitações em seu uso direto nos grandes incêndios, a água é essencial na operação de rescaldo. Quanto maior o incêndio, menor a eficiência relativa da água no combate ao fogo. A importância do uso de produtos químicos, que melhorem a eficiência da água na extinção do fogo ou que possam substituí-la, portanto, aumenta à medida que aumenta a dificuldade em se obter água e cresce a intensidade do incêndio. Na intenção de economizar água, devem-se usar esguichos na ponta das mangueiras usadas no combate ao fogo. O esguicho simples produz somente um jato compacto, utilizando, por isso, uma grande quantidade de água; já um esguicho com válvula, é mais recomendável por apresentar um controle do fluxo de água e pela possibilidade da utilização de um jato neblinado, cobrindo uma maior área. Também garante proteção e segurança ao operador, pois proporciona o jato compacto e neblinado simultaneamente (GOLDAMMER, 1982). Com o objetivo de melhorar as propriedades extintoras da água, tornando-a mais viscosa e aderente à vegetação e ao material combustível, podem-se usar os retardantes químicos. Seu efeito é independente da umidade residual no combustível e, mesmo depois de seco, o material combustível tratado com retardante continua com sua capacidade de inflamabilidade residual. Os retardantes de longa duração mais usados são à base de fosfato diamônico, fosfato monoamônico, sulfato de amônia e borato de cálcio e sódio (RIBEIRO, 2002).

Segundo Soares e Batista (2007), os retardantes de curta duração são os concentrados de espuma ou líquido gerador de espuma (LGE), ou seja, são produtos que, misturados à água, formam uma espuma que aumenta em até cinco vezes a eficiência da água na extinção do fogo. Para uma melhor utilização de LGE, é necessária a presença de ar na mistura; nesse sentido, é interessante a utilização de equipamentos pressurizados, como reboques ou caminhões bombeiros, proporcionando assim alta eficiência em sua utilização. Conforme os mesmos

autores, outro produto que tem sido usado é o extintor de explosão. Esse equipamento consiste em um recipiente plástico de 5 litros, que é carregado com água, retardante e pólvora, além de um pavio. Ele é colocado na frente do incêndio e, assim que o pavio é aceso, ocorre uma explosão que espalha a água em um raio de 2,5 m.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: FUPEF, 1997. 50p.

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v. 34, n. 2, Maio/Ago., 2004. p. 237-241. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/firelab/wp-content/uploads/2013/09/artigo16.pdf>. Acesso em: 20/02/2018.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2005. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/1659/TOTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2018.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation**: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence: ÉDISUD, 1985. 180p.

BROWN, J. K; SMITH, J. K. (Eds.) **Wildland fire in ecosystems**: effects of fire on fauna. Ogden, v. 1, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2000. 257 p. (General. Technique. Report, 42). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_2.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_2.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

BUSSE, M. D.; DEBANO, L. F. Soil Biology. In: NEARY, D.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (Eds). **Wildland fire in ecosystems**: effects of fire on soils and water. Ogden, v. 4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p. 73 – 92. (General. Technique. Report, 42). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

BORESTE Escola Náutica e Consultoria. Caraguatatuba, SP, 2012. Tabela Escala Beaufort. Disponível em: <http://www.borestenautica.com.br/arquivos/BEAUFORT.pdf>. Acesso em 20 jul. 2018.

CIANCIULLI, P. L. **Incêndios florestais**: prevenção e combate. São Paulo: Nobel, 1981. 169 p.

DEBANO, L. F. NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P. F. Soil Physical Properties. In: NEARY, D.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (Eds.) **Wildland fire in ecosystems**: effects of fire on soils and water. Ogden, v. 4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p. 29-52 (General. Technique. Report, 42). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia**: O clima da camada de ar junto ao solo. 4. ed. Lisboa: Fundação Golbekian, 1999, 556 p.

GOLDAMMER, J. G. **Incêndios florestais**: prevenção, controle e uso do fogo. Curitiba: [s.n.], 1982. 93p.

HEIKKILÄ, T. V.; GRÖNQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. **Wildland Fire Management: Handbook for Trainers**. Helsinki: Ministry for Foreign Affairs of Finland, 2007. 248 p.

NEPSTAD, D. et al. **Avança Brasil: Os Custos Ambientais para a Amazônia**. 1. ed. Belém: Gráfica e Editora Alves, 2000. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/pda/\\_arquivos/prj\\_mc\\_048\\_pub\\_rel\\_001\\_ae.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/pda/_arquivos/prj_mc_048_pub_rel_001_ae.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

KAYLL, A.J. **A technique for studying the fire tolerance of living trunks**. Canada: Depto. of Forestry Publication, n. 1012, 1963. 22 p.

KNOEPP, J. D.; DEBANO, L.F.; NEARY, D.G. Soil Chemistry. In: NEARY, D.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (Eds.) **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water**. Ogden, v. 4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p. 53 – 72 (General. Technique. Report, 42). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

MILLER, M. Fire Autecology. In: BROWN, J. K.; SMITH, J. K. (Eds.). **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora**. Ogden, v. 2, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000. P. 09 – 34 (General. Technique. Report, 42). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_2.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_2.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P.F.; LANDSBERG, J. D. Fire and Streamflow Regimes. In: NEARY, D.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (Eds.) **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water**. Ogden, v. 4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p 107 – 118 (Gen. Tech. Rep., 42). ). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

NEARY, D. G. et al. Water Quality. In: NEARY, D.; RYAN, K. C.; DEBANO, L. F. (Eds.) **Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water**. Ogden, v. 4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2005. p 119 – 134 (Gen. Tech. Rep., 42). ). Disponível em: [https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_gtr042\\_4.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_gtr042_4.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

NELSON, R. M. **Observations on heat tolerance of southern pine needles**. Asheville: Southeastern Forest Experiment Station. 8 p. jan. 1952. (Paper, 14). Disponível em: [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/sp/sp\\_se14.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/sp/sp_se14.pdf). Acesso em: 20 fev. 2018.

NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. FMA<sup>+</sup> - Um novo Índice de Perigo e Incêndios Florestais para o Estado do Paraná. **Revista Floresta**. Curitiba, PR, v. 36, n. 1, jan./abr. p: 75-91, 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/5509/4039>. Acesso em: 20 fev. 2018.



PANTOJA, N. V.; BROWN, I. F. Acurácia dos sensores AVHRR, GOES e MODIS na detecção de incêndios florestais e queimadas a partir de observações aéreas no estado do Acre, Brasil. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 13., 2007, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis/SC: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 4501-4508.

PLAZA, A. S. **Perfil criminológico del incendiario forestal**: estudio empírico basado en la evidencia. 2016. 311p. Tese (Doutorado em Psicologia) – Universidade Complutense de Madrid, Madrid, 2016.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. n. 89, p. 100-106, abr. 2005. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/dados/download/05-05-2014-10-46poder-calorifico-da-madeira-e-de-materiais-ligno-celulosicos.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2018.

RIBEIRO, G. A. **Formação e Treinamento de Brigada de Incêndio Florestal**. Viçosa: CPT, 2002. 182 p.

SANDBERG, D. V. et al. **Wildland fire on ecosystems**: effects of fire on air. v. 5. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Ogden: U.S. Department of Agriculture, 2002. 79 p. (General Technique Report, 42). Disponível em: <[https://forest.moscowfsl.wsu.edu/fuels/documents/gtr42\\_5.pdf](https://forest.moscowfsl.wsu.edu/fuels/documents/gtr42_5.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2018.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Incêndios Florestais**. 2. ed. rev. Santa Maria: Editora UFSM, 2013. 129p. (Coleção ciências rurais, 13).

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Apresentação. Características do território. **Clima, temperatura e precipitação**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

SILVA, R. G. **Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais**. Brasília, DF: IBAMA, 1998. 80 p.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais**: Controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 1985. 213p.

\_\_\_\_\_. Índices de perigo de incêndios. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 3. n. 3, 1972. p. 19-40.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: [s.n.] 2007. 250 p.

TOZZINI, D. S.; SOARES, R. V. Relações entre comportamento do fogo e danos causados a um povoamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 17, n. 1/2, 1987. p. 9–13. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/6377/4574>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

VIELHAUER, K.; SÁ, T. D. A. Efeito do enriquecimento de capoeiras com árvores leguminosas de rápido crescimento para a produção agrícola no nordeste paraense. In: SEMINÁRIO SOBRE MANEJO DA VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA PARA A

SUSTENTABILIDADE DA AGRICULTURA FAMILIAR DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1., 1999, Belém. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. p. 27-34. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 69).

YOUNG, H. D.; SEARS, F. W. **University Physics**. 8. ed. Reading: Addison-Wesley Pub. Co., 1992.

WHELAN, R. J. **The ecology of fire**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 346 p.

## APÊNDICE A - EXEMPLO DO CÁLCULO DO GRAU DE PERIGO POR MEIO DA FMA+

Dia	Precip. (mm)	Vel. do vento (m s <sup>-1</sup> )	UR (%)	FMA <sup>+</sup> (do dia)	FMA <sup>+</sup> Acumulado	Correção pela precipitação	Grau de perigo
1	53	5	100	0,00	0,00		nulo
2	0	2,1	78	1,39	1,39		nulo
3	0	3,4	65	1,76	3,16		pequeno
4	0	5	54	2,26	5,42		pequeno
5	0	2,5	35	3,16	8,58		médio
6	0	8,1	32	4,32	12,90		médio
7	0	1,5	31	3,43	16,32	11,43	alto
8	3,5	2	71	1,53	12,95		médio
9	0	3,2	63	1,80	14,76		alto
10	0	2,5	59	1,87	16,63	16,60	alto
11	2,2	0,6	66	1,55	18,15		alto
12	0	1,7	62	1,73	19,88		alto
13	0	5,8	55	2,29	22,17	15,52	alto
14	3,1	5,4	81	1,53	17,05		alto
15	0	1	67	1,55	18,61		alto
16	0	2,4	62	1,78	20,38	8,15	alto
17	8	3,7	86	1,35	9,50	3,80	médio
18	7	8,9	89	1,60	5,40		pequeno
19	0	0,8	74	1,40	6,80		pequeno
20	0	9	73	1,96	8,76		médio
21	0	11	67	2,32	11,08		médio
22	0	4,3	64	1,86	12,94		médio
23	0	5	62	1,97	14,91		alto
24	0	4	56	2,10	17,00		alto
25	0	7,6	43	3,15	20,15		alto
26	0	8,2	32	4,34	24,49		muito alto
27	0	6,5	21	6,18	30,67		muito alto
28	46	3,6	100	0,00	0,00		nulo
29	0	2,8	82	1,36	1,36		nulo
30	0	3,1	65	1,74	3,11		pequeno

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n \left( \frac{100}{Hi} \right) \cdot e^{0,04 \cdot v}$$

FMA<sup>+</sup><sub>dia 1</sub> = o valor para o dia 1 é zero porque a precipitação foi maior que 12,9 mm (Ver Quadro 10).

$$FMA^+_{dia 2} = (100 \div 78) \cdot e^{(0,04 \times 2,1)} = 1,39$$

$$FMA^+_{dia 3} = (100 \div 65) \cdot e^{(0,04 \times 3,4)} = 1,76$$

$$FMA^+_{dia 4} = (100 \div 54) \cdot e^{(0,04 \times 5,0)} = 2,26$$

$$FMA^+_{dia 5} = (100 \div 35) \cdot e^{(0,04 \times 2,5)} = 3,16$$

$$FMA^+_{dia 6} = (100 \div 32) \cdot e^{(0,04 \times 8,1)} = 4,32$$

$$FMA^+_{dia 7} = (100 \div 31) \cdot e^{(0,04 \times 1,5)} = 3,43$$

$$FMA^+_{dia 8} = (100 \div 71) \cdot e^{(0,04 \times 2,0)} = 1,53$$

Como no dia 8 choveram 3,5 mm, é necessário realizar a correção do FMA<sup>+</sup> acumulado até o do dia anterior (dia 7). Correção pela precipitação: 16,3x0,7 (ver Quadro 10)=11,43. O valor acumulado até o dia 8 passa a ser 11,43+1,53=12,96. O procedimento para as demais correções segue da mesma forma, apenas variando o fator de correção conforme o Quadro 10.

$$FMA^+_{dia 9} = (100 \div 78) \cdot e^{(0,04 \times 2,1)} = 1,80$$

.

.

.

FMA<sup>+</sup><sub>dia 28</sub> = o cálculo é zerado, pois ocorreu uma chuva maior que 12,9 mm.

**ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS**

(continua)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )	Db (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	Amargozinho	4.989 <sup>1</sup>	0,74 <sup>1</sup>
<i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth.	Macucu de paca	5.075 <sup>2</sup>	0,73 <sup>2</sup>
<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	Melancieira	4.927 <sup>2</sup>	0,53 <sup>2</sup>
<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. ex Engl.	Cajuaçu	4.456 <sup>2</sup>	0,52 <sup>2</sup>
<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. ex Engl.	Cajuaçu, Cajuí	4.411 <sup>4</sup>	0,42 <sup>4</sup>
<i>Andira parviflora</i> Ducke	Sucupira vermelha	4.876 <sup>2</sup>	0,67 <sup>2</sup>
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Bolsinha	4.827 <sup>1</sup>	0,61 <sup>1</sup>
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Guatambu	4.863 <sup>1</sup>	0,58 <sup>1</sup>
<i>Aspidosperma obscurinervium</i> Azambuja	Piquiá-marfim	4.742 <sup>2</sup>	0,86 <sup>2</sup>
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Maria preta	4.516 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Pau-marfim	4.798 <sup>2</sup>	0,91 <sup>2</sup>
<i>Buchenavia oxycarpa</i> (Mart.) Eichler	Tanimbuca	4.685 <sup>2</sup>	0,72 <sup>2</sup>
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Murici vermelho	4.844 <sup>1</sup>	0,59 <sup>1</sup>
<i>Byrsonima crassa</i> Nied.	Murici	4.781 <sup>1</sup>	0,56 <sup>1</sup>
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Murici	4.771 <sup>1</sup>	0,48 <sup>1</sup>
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Andiroba	4.633 <sup>2</sup>	0,43 <sup>2</sup>
<i>Cariniana integrifolia</i> Ducke	Tauari da amazônia	4.721 <sup>2</sup>	0,49 <sup>2</sup>
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Pequi	4.839 <sup>1</sup>	0,61 <sup>1</sup>
<i>Catostemma sclerophyllum</i> Ducke	Castanha de paca	4.714 <sup>2</sup>	0,61 <sup>2</sup>
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	4.707 <sup>2</sup>	0,38 <sup>2</sup>
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Cedrorana	4.746 <sup>2</sup>	0,46 <sup>2</sup>
<i>Ceiba samauma</i> (Mart. & Zucc.) K.Schum.	Huimba negra	4.625 <sup>3</sup>	0,57 <sup>3</sup>
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Guariúba	4.848 <sup>2</sup>	0,59 <sup>2</sup>
<i>Connarus suberosus</i> Planch	Coração de negro	4.813 <sup>1</sup>	0,52 <sup>1</sup>
<i>Corythophora rimosa</i> W.A.Rodrigues	Castanha jacaré	4.748 <sup>2</sup>	0,84 <sup>2</sup>
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Tauari	4.735 <sup>2</sup>	0,60 <sup>2</sup>
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Jacarandá do cerrado	4.896 <sup>1</sup>	0,77 <sup>1</sup>
<i>Dimorphandra parviflora</i> Spruce ex Benth.	Arapari Branco	4.663 <sup>2</sup>	0,73 <sup>2</sup>
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Faveira	4.940 <sup>1</sup>	0,70 <sup>1</sup>
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumarú	4.866 <sup>2</sup>	0,97 <sup>2</sup>
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumarú	4.828 <sup>4</sup>	1,08 <sup>4</sup>
<i>Dipteryx polyphylla</i> (Huber) Ducke	Cumarurana	4.907 <sup>2</sup>	0,83 <sup>2</sup>

# **ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS**

(continuação)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )	Db (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Endlicheria formosa</i> A.C.Sm.	Louro preto	4.920 <sup>2</sup>	0,48 <sup>2</sup>
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Timbaúva	4.737 <sup>1</sup>	0,62 <sup>1</sup>
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Sucupira amarela	4.772 <sup>2</sup>	0,68 <sup>2</sup>
<i>Eremanthus glomeratus</i> Less.	Pau-de-candeia	4.738 <sup>1</sup>	0,57 <sup>1</sup>
<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) A.Robyns	Punga colorada	3.888 <sup>3</sup>	0,39 <sup>3</sup>
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	Paineira	4.565 <sup>1</sup>	0,36 <sup>1</sup>
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Paineira do cerrado	4.565 <sup>1</sup>	0,38 <sup>1</sup>
<i>Erismia uncinatum</i> Warming	Quarubarana	4.523 <sup>2</sup>	0,55 <sup>2</sup>
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	Fruto de passarinho	4.638 <sup>1</sup>	0,52 <sup>1</sup>
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	Muchiba	4.549 <sup>1</sup>	0,62 <sup>1</sup>
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Muchiba comprida	4.931 <sup>1</sup>	0,54 <sup>1</sup>
<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	Matá-matá	4.747 <sup>2</sup>	0,81 <sup>2</sup>
<i>Glycoxylon inophyllum</i> (Mart. ex Miq.) Ducke	Casca doce	4.676 <sup>2</sup>	0,73 <sup>2</sup>
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Cupiúba	4.654 <sup>2</sup>	0,69 <sup>2</sup>
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Guapira	4.622 <sup>1</sup>	0,47 <sup>1</sup>
<i>Guarea trichilioides</i> L.	Gitó	4.828 <sup>2</sup>	0,66 <sup>2</sup>
<i>Helicostylis scabra</i> (J.F.Macbr.) C.C.Berg	Jaruta	4.653 <sup>2</sup>	0,71 <sup>2</sup>
<i>Hevea guianensis</i> Aublet	Seringueira	4.485 <sup>2</sup>	0,51 <sup>2</sup>
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Jatobá do cerrado	4.851 <sup>1</sup>	0,78 <sup>1</sup>
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá	4.792 <sup>2</sup>	0,88 <sup>2</sup>
<i>Hymenaea intermedia</i> Ducke	Jutaí	4.743 <sup>2</sup>	0,78 <sup>2</sup>
<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Angelim da mata	4.828 <sup>2</sup>	0,66 <sup>2</sup>
<i>Hymenolobium pulcherrimum</i> Ducke	Angelim rajado	4.837 <sup>2</sup>	0,67 <sup>2</sup>
<i>Iryanthera tricornis</i> Ducke	Ucuuba puna	4.645 <sup>2</sup>	0,69 <sup>2</sup>
<i>Iryanthera ulei</i> Warb.	Ucuubarana	4.792 <sup>2</sup>	0,64 <sup>2</sup>
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	Caroba	4.696 <sup>2</sup>	0,35 <sup>2</sup>
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Pau santo	4.747 <sup>1</sup>	0,46 <sup>1</sup>
<i>Kielmeyera speciosa</i> A. St.-Hil.	Pau santo	4.882 <sup>1</sup>	0,58 <sup>1</sup>
<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schltdl.	Mangaba brava	4.788 <sup>1</sup>	0,74 <sup>1</sup>
<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Macucu fofo	4.761 <sup>2</sup>	0,88 <sup>2</sup>
<i>Licaria aritu</i> Ducke	Louro aritu	4.770 <sup>2</sup>	0,79 <sup>2</sup>
<i>Licaria cannella</i> (Meisn.) Kosterm.	Louro chumbo	4.889 <sup>2</sup>	1,04 <sup>2</sup>
<i>Macrolobium limbatum</i> Spruce ex Benth.	Ingá-cumaru	4.680 <sup>2</sup>	0,68 <sup>2</sup>
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Maçanduba-da-terra-firme	4.793 <sup>2</sup>	0,92 <sup>2</sup>

# ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS

(continuação)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )	Db (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Matisia bicolor</i> Ducke	Sapota macho	4.110 3	0,48 3
<i>Matisia cordata</i> Kunth	Sapote	4.062 3	0,42 3
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. Ex Mez	Itaúba-verdadeiro	5.263 <sup>2</sup>	0,70 <sup>2</sup>
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	Jacatirão-ferrugem	4.777 <sup>1</sup>	0,65 <sup>1</sup>
<i>Miconia pohliana</i> Cogn.	Jacatirão- pohliana	4.626 <sup>1</sup>	0,57 <sup>1</sup>
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Capororoca	4.700 <sup>1</sup>	0,52 <sup>1</sup>
<i>Neoxythece elegans</i> (A.DC.) Aubret	Abiurana	4.564 <sup>2</sup>	0,88 <sup>2</sup>
<i>Ocotea cymbarum</i> Kunth	Louro inhamui	5.150 <sup>2</sup>	0,47 <sup>2</sup>
<i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A.DC.) Warb.	Ucuubarana	4.827 <sup>2</sup>	0,42 <sup>2</sup>
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Barba de bode	4.926 <sup>1</sup>	0,50 <sup>1</sup>
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Bate caixa	4.695 <sup>1</sup>	0,43 <sup>1</sup>
<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	Faveira-folha-fina	4.647 <sup>4</sup>	0,72 <sup>4</sup>
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Coração de negro	4.744 <sup>1</sup>	0,42 <sup>1</sup>
<i>Pithecellobium racemosum</i> (Ducke) Killip	Angelim	4.861 <sup>2</sup>	0,81 <sup>2</sup>
<i>Platymiscium ulei</i> Harms	Macacaúba	4.987 <sup>2</sup>	0,75 <sup>2</sup>
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	Abiurana	4.878 <sup>2</sup>	0,90 <sup>2</sup>
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Fruta do veado	4.779 <sup>1</sup>	0,70 <sup>1</sup>
<i>Psidium warmingianum</i> Kiaersk.	-	4.752 <sup>1</sup>	0,20 <sup>1</sup>
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Sucupira branca	4.953 <sup>1</sup>	0,73 <sup>1</sup>
<i>Qualea brevipedicellata</i> Stafleu	Mandioqueira	4.398 <sup>2</sup>	0,63 <sup>2</sup>
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Pau terra folha grande	4.736 <sup>1</sup>	0,69 <sup>1</sup>
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Pau terra liso	4.725 <sup>1</sup>	0,66 <sup>1</sup>
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Mandioqueira	4.626 <sup>2</sup>	0,66 <sup>2</sup>
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau terra roxo	4.710 <sup>1</sup>	0,69 <sup>1</sup>
<i>Quararibea asterolepis</i> Pittier	Sapotilho	4.334 <sup>3</sup>	0,46 <sup>3</sup>
<i>Rourea induta</i> Planch.	Chapeudinha	4.667 <sup>1</sup>	0,47 <sup>1</sup>
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	Mandiocão do cerrado	4.740 <sup>1</sup>	0,68 <sup>1</sup>
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	Morototó	4.556 <sup>2</sup>	0,40 <sup>2</sup>
<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	Carvoeiro	4.849 <sup>1</sup>	0,72 <sup>1</sup>
<i>Scleronema micranthum</i> (Ducke) Ducke	Cardeiro	4.709 <sup>2</sup>	0,59 <sup>2</sup>
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá	4.627 <sup>2</sup>	0,35 <sup>2</sup>
<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	Quina do cerrado	4.756 <sup>1</sup>	0,72 <sup>1</sup>
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Barbatimão	4.816 <sup>1</sup>	0,55 <sup>1</sup>
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Laranjeira do cerrado	4.755 <sup>1</sup>	0,49 <sup>1</sup>
<i>Swartzia panacoco</i> (Aubl.) R.S.Cowan	Coração de negro	4.904 <sup>2</sup>	0,97 <sup>2</sup>

# ANEXO A - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DA DENSIDADE BÁSICA (DB) DE 108 ESPÉCIES FLORESTAIS

(conclusão)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )	Db (g cm <sup>-3</sup> )
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl.	Ipê	4.760 <sup>1</sup>	0,62 <sup>1</sup>
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nichols.	Ipê	4.823 <sup>1</sup>	0,69 <sup>1</sup>
<i>Tabebuia</i> Gomes ex DC.	Ipê	4.957 <sup>4</sup>	1,05 <sup>4</sup>
<i>Tachigali myrmecophila</i> (Ducke) Ducke	Tachi preto	4.667 <sup>2</sup>	0,51 <sup>2</sup>
<i>Trattinnickia burserifolia</i> Mart.	Breu sucuruba	4.606 <sup>4</sup>	0,44 <sup>4</sup>
<i>Viola calophylla</i> Warb	Ucuúba grande	4.574 <sup>2</sup>	0,50 <sup>2</sup>
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	Pau doce	4.736 <sup>1</sup>	0,57 <sup>1</sup>
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Gomeira	4.713 <sup>1</sup>	0,49 <sup>1</sup>

Fonte: Adaptado de Quirino et al. (2005) e atualizado conforme dados factuais da pesquisa

# ANEXO B - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE OUTRAS 132 ESPÉCIES FLORESTAIS

(continua)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )
<i>Acacia decurrens</i> Willd. var.	Acácia	4.550 <sup>3</sup>
<i>Acacia polyphylla</i> DC.	Monjoleiro	4.760 <sup>2</sup>
<i>Alibertia myrciifolia</i> Sprunge Ex. Schum	Marmelada	4.770 <sup>2</sup>
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. ex Niederl.	Chal-chal	4.563 <sup>2</sup>
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan	Angico preto	4.484 <sup>3</sup>
<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex Benth.	Pau amarelo	4.730 <sup>6</sup>
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinheiro do Paraná	4.767 <sup>3</sup>
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinheiro do Paraná	4.788 <sup>2</sup>
<i>Aspidosperma multiflorum</i> A.DC.	Peroba póca	4.707 <sup>2</sup>
<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg.	Peroba rosa	4.855 <sup>2</sup>
<i>Aspidosperma</i> SP. Mart. & Zucc.	Peroba	4.582 <sup>2</sup>
<i>Aspidosperma obscurinervium</i> Azambuja	Piquiá-marfim	4.926 <sup>6</sup>
<i>Astronium urundeuva</i> (Allemão) Engl.	Aroeira	4.582 <sup>3</sup>
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	Marfim	4.776 <sup>3</sup>
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.	Pau marfim	4.575 <sup>2</sup>
<i>Bombax munguba</i> Mart. & Zucc.	Munguba	4.524 <sup>6</sup>
<i>Bowdichia</i> Kunth	Sucupira amarela	4.680 <sup>2</sup>
<i>Bowdichia</i> Kunth spp	Sucupira	4.774 <sup>3</sup>
<i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret	Sete capotes	4.795 <sup>2</sup>
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá doce	4.688 <sup>6</sup>
<i>Brosimum potabile</i> Ducke	Amapá doce	4.693 <sup>6</sup>
<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler	Mirindiba	3.831 <sup>5</sup>
<i>Caesalpinia</i> L.	Pau ferro	4.942 <sup>2</sup>
<i>Campomanesia</i> Ruiz & Pav.	Guabiroba	4.820 <sup>2</sup>
<i>Cariniana decandra</i> Ducke	Tauari	4.633 <sup>6</sup>
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Pau largato	4.670 <sup>2</sup>
<i>Casuarina equisetifolia</i> L	Casuarina	4.127 <sup>5</sup>
<i>Casuarina equisetifolia</i> L	Casuarina	4.465 <sup>3</sup>
<i>Cecropia leucocoma</i> Miq.	Shiari	4.719 <sup>1</sup>
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	4.791 <sup>3</sup>
<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Tornillo	4.798 <sup>1</sup>
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro	4.562 <sup>2</sup>
<i>Centrolobium robustum</i> (Vell.) Mart. ex Benth.	Araribá amarelo	5.110 <sup>2</sup>
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guillem. ex Benth.	Araribá	4.339 <sup>3</sup>
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Amoreira	4.675 <sup>2</sup>
<i>Copaifera</i> L.	Oleo de copahyba	4.512 <sup>2</sup>



## ANEXO B - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE OUTRAS 132 ESPÉCIES FLORESTAIS

(continuação)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )
<i>Cordia goeldiana</i> Huber	Freijó	4.787 <sup>3</sup>
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Capitão do campo	4.770 <sup>2</sup>
<i>Coussapoa villosa</i> Poepp. & Endl.	Mata pau	4.754 <sup>1</sup>
<i>Cryptomeria japonica</i> (L. filius) D. Don	Criptomeria	4.893 <sup>3</sup>
<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capexingui	4.607 <sup>2</sup>
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Rabo de Bugio	4.780 <sup>2</sup>
<i>Cupressus lusitanica</i> Miller	Cipreste	4.695 <sup>3</sup>
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Cumarú	4.810 <sup>3</sup>
<i>Duguetia</i> A.St.-Hil.	Pindahyba	4.615 <sup>2</sup>
<i>Endlicheria iquitoensis</i>	Machimango colorado	4.745 <sup>1</sup>
<i>Endlicheria williamsii</i> O.C.Schmidt	Isma moena	4.798 <sup>1</sup>
<i>Eucalyptus alba</i> Reinw. ex Blume	Eucalipto	4.657 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus botryoides</i> Sm.	Eucalipto	4.760 <sup>2</sup>
<i>Eucalyptus cinerea</i> F.Muell. ex Benth.	Eucalipto	4.653 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Eucalipto	4.733 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus grandis</i> W.Hill	Eucalipto	4.682 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus gummifera</i> Hochr (Gaertn.)	Eucalipto	4.935 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus longifolia</i> Link	Eucalipto	4.809 <sup>2</sup>
<i>Eucalyptus maculata</i> Hook.	Eucalipto	4.512 <sup>2</sup>
<i>Eucalyptus microcorys</i> F.Muell.	Eucalipto	4.940 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus pellita</i> F.Muell.	Eucalipto	5.023 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus pilularis</i> Sm.	Eucalipto	4.989 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus saligna</i> Sm.	Eucalipto	4.655 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus spp</i>	Eucalipto	4.217 <sup>5</sup>
<i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm.	Eucalipto	4.661 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus triantha</i> Link	Eucalipto	4.949 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T.Blake	Eucalipto	4.480 <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus viminalis</i> Labill.	Eucalipto	4.691 <sup>3</sup>
<i>Eugenia jambos</i> L.	Jambo-rosa	4.040 <sup>5</sup>
<i>Eugenia</i> L.	Pitangueira	4.505 <sup>2</sup>
<i>Zanthoxylum</i> L.	Mamica de porca	4.635 <sup>2</sup>
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Gmelina	4.470 <sup>3</sup>
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn. ex R.Br.	Grevilia	4.577 <sup>3</sup>
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn. ex R.Br.	Grevilia	4.700 <sup>2</sup>
<i>Guatteria modesta</i> Diels	Carauhasca	4.780 <sup>1</sup>
<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Müll.Arg.) Woodson	Janaguba	4.700 <sup>1</sup>
<i>Holocalyx glaziovii</i> Taub. ex Glaz.	Alecrim	4.519 <sup>2</sup>

# ANEXO B - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE OUTRAS 132 ESPÉCIES FLORESTAIS

(continuação)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )
<i>Huberodendron swietenoides</i> (Gleason) Ducke	Sacha caoba	4.763 <sup>1</sup>
<i>Ilex</i> L.	Erva mate	4.647 <sup>2</sup>
<i>Jacaranda acutifolia</i> Bonpl.	Jacarandá mimoso	4.755 <sup>2</sup>
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	Huamansamana	4.730 <sup>1</sup>
<i>Joannesia princeps</i> Vell.	Boleiro	4.296 <sup>3</sup>
<i>Licania elata</i> (Pilg.) Pilg.	Apacharama	4.670 <sup>1</sup>
<i>Lithrea molleoides</i> (Vell.) Engl.	Aroeira branca	4.580 <sup>2</sup>
<i>Luehea speciosa</i> Willd.	Açoita cavalo	4.515 <sup>2</sup>
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Jacarandá paulista	4.980 <sup>2</sup>
<i>Macoubea guianensis</i> Aubl.	Jarabe huayo	4.677 <sup>1</sup>
<i>Maquira coriacea</i> (H.Karst.) C.C.Berg	Envireira	4.432 <sup>6</sup>
<i>Melia azedarach</i> L.	Sinamomo	4.568 <sup>3</sup>
<i>Miconia cubatanensis</i> Hoehne	Jacatirão meudo	4.730 <sup>2</sup>
<i>Micrandra spruceana</i> (Baill.) R.E.Schult.	Shiringa masha	4.621 <sup>1</sup>
<i>Mimosa bracaatinga</i> Hoehne	Bracatinga	4.634 <sup>2</sup>
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	Bracatinga	4.589 <sup>3</sup>
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	Bracatinga	4.890 <sup>4</sup>
<i>Moquinia polymorpha</i> (Less.) DC.	Cambará	4.732 <sup>2</sup>
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira preta	4.600 <sup>2</sup>
<i>Myrtus communis</i> L.	Goiabeira brava	4.592 <sup>2</sup>
<i>Nectandra</i> Rol. ex Rottb.	Canelão	4.570 <sup>2</sup>
<i>Ocotea cymbarum</i> Kunth	Louro inhamui	4.872 <sup>6</sup>
<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart.) Barroso	Imbuia	4.784 <sup>3</sup>
<i>Osteophloeum platyspermum</i> (Spruce ex A.DC.) Warb.	Ucuubarana	4.863 <sup>6</sup>
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Angico vermelho	5.324 <sup>3</sup>
<i>Patagonula americana</i> L.	Guaiuvira	4.536 <sup>2</sup>
<i>Paulownia tomentosa</i> Steud.	Kiri	4.464 <sup>3</sup>
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafístula	4.755 <sup>3</sup>
<i>Perebea chimiqua</i> J.F. Macbr.	Chimicua	4.810 <sup>1</sup>
<i>Pinus caribaea</i> Morelet	Pinheiro	4.929 <sup>5</sup>
<i>Pinus cubensis</i> Griseb.	Pinheiro	5.057 <sup>5</sup>
<i>Pinus elliottii</i> Engelm.	Pinheiro	4.786 <sup>3</sup>
<i>Pinus maderiensis</i> Ten.	Pinheiro	4.844 <sup>5</sup>
<i>Piptadenia communis</i> Benth.	Jacaré	4.773 <sup>2</sup>
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Pau jacaré	4.667 <sup>3</sup>
<i>Piptadenia</i> Benth.	Angico do mato	4.682 <sup>2</sup>

## ANEXO B - VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DE OUTRAS 132 ESPÉCIES FLORESTAIS

(conclusão)

Nome científico	Nome comum	PCS (kcal kg <sup>-1</sup> )
<i>Platycyamus regnellii</i> Benth.	Pau pereira	4.662 <sup>2</sup>
<i>Populus nigra</i> L.	Álamo	4.528 <sup>3</sup>
<i>Protium Ilewelyinii</i> J.F. Macbr.	Copal	4.721 <sup>1</sup>
<i>Prunus sphaerocarpa</i> Sw.	Coração de negro	4.700 <sup>2</sup>
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim	4.684 <sup>2</sup>
<i>Roupala</i> Aubl.	Carne de vaca	4.693 <sup>2</sup>
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	Guapuruvu	4.544 <sup>3</sup>
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupá	4.883 <sup>1</sup>
<i>Sorocea</i> A.St.-Hil.	Canxim	4.453 <sup>2</sup>
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno	4.785 <sup>3</sup>
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Azufre caspi	4.770 <sup>1</sup>
<i>Tabebuia cassinoides</i> (Lam.) DC.	Caixeta	4.806 <sup>3</sup>
<i>Tabebuia</i> Gomes ex DC.	Ipê	4.810 <sup>3</sup>
<i>Tecoma eximia</i> Miq.	Ipê tabaco	4.705 <sup>2</sup>
<i>Tecoma impetiginosa</i> Mart. ex DC.	Ipê roxo	4.655 <sup>2</sup>
<i>Tecoma</i> Juss.	Ipê cascudo	4.875 <sup>2</sup>
<i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze	Tipuana	4.520 <sup>3</sup>
<i>Toluidra peruifera</i> Taub.	Cabreúva vermelha	4.675 <sup>2</sup>
<i>Torresea acreana</i> Ducke	Cerejeira	4.786 <sup>3</sup>
<i>Trichilia sexanthera</i> C. DC.	Requia blanca	4.885 <sup>1</sup>
<i>Virola albidiflora</i> Ducke	Ucuuba	4.604 <sup>6</sup>
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	Caupuri	4.768 <sup>1</sup>
<i>Virola rufula</i> Warb.	Cumala branca	4.735 <sup>1</sup>
<i>Vochysia lomatophylla</i> Standl.	Quillo sisa	4.690 <sup>1</sup>

Fonte: Adaptado de Quirino et al. (2005) e atualizado conforme dados factuais da pesquisa.

**ANEXO C - PRESSÃO MÁXIMA DE VAPOR D'ÁGUA EM MB**

T (°C)	E (mb)	T (°C)	E (mb)	T (°C)	E (mb)
0,0	6,1078	20,0	23,373	40,0	73,777
0,5	6,3333	20,5	24,107	40,5	75,767
1,0	5,5662	21,0	24,261	41,0	77,302
1,5	6,8086	21,5	25,635	41,5	79,885
2,0	7,0567	22,0	26,430	42,0	62,015
2,5	7,3109	22,5	27,247	42,5	84,194
3,0	7,5753	23,0	28,086	43,0	86,423
3,5	7,8480	23,5	28,947	43,5	88,703
4,0	8,1294	24,0	29,831	44,0	91,034
4,5	8,4198	24,5	30,739	44,5	93,418
5,0	8,7198	25,0	31,671	45,0	95,855
5,5	9,0280	25,5	32,637	45,5	98,347
6,0	9,3480	26,0	33,608	46,0	100,89
6,5	9,6743	26,5	34,615	46,5	103,50
7,0	10,013	27,0	35,649	47,0	106,16
7,5	10,362	27,5	37,709	47,5	108,88
8,0	10,722	28,0	37,796	48,0	111,66
8,5	11,092	28,5	38,911	48,5	114,50
9,0	11,474	29,0	40,055	49,0	117,40
9,5	11,867	29,5	41,228	49,5	120,37
10,0	12,272	30,0	42,430	50,0	123,40
10,5	12,690	30,5	43,663	50,5	126,49
11,0	13,119	31,0	44,927	51,0	129,65
11,5	13,562	31,5	46,223	51,5	132,88
12,0	14,017	32,0	47,551	52,0	136,17
12,5	14,486	32,5	48,912	52,5	139,51
13,0	14,969	33,0	50,307	53,0	142,98
13,5	15,466	33,5	51,736	53,5	146,49
14,0	15,977	34,0	53,200	54,0	150,07
14,5	16,503	34,5	54,700	54,5	153,73
15,0	17,644	35,0	56,236	55,0	157,46
15,5	17,800	35,5	57,810	55,5	161,27
16,0	18,173	36,0	59,422	56,0	165,16
16,5	18,762	36,5	61,072	56,5	169,13
17,0	19,367	37,0	62,762	57,0	173,18
17,5	19,990	37,5	64,493	57,5	177,31
18,0	20,630	38,0	66,264	58,0	181,53
18,5	21,288	38,5	68,078	58,5	185,83
19,0	21,964	39,0	69,937	59,0	190,22
19,5	22,659	39,5	71,833	59,5	199,26

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

## ANEXO D - PRESSÃO MÁXIMA DE VAPOR D'ÁGUA (E) EM mmHG

Temp. (°C)	DÉCIMOS DE GRAU									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-5	3,16	3,14	3,11	3,09	3,07	3,04	3,02	3,00	2,98	2,95
-4	3,41	3,38	3,36	3,33	3,31	3,28	3,26	3,23	3,21	3,18
-3	3,67	3,64	3,62	3,59	3,56	3,54	3,51	3,48	3,46	3,43
-2	3,95	3,92	3,89	3,86	3,84	3,81	3,78	3,75	3,72	3,70
-1	4,25	4,22	4,19	4,16	4,13	4,10	4,07	4,04	4,01	3,98
0	4,57	4,54	4,50	4,47	4,44	4,41	4,37	4,34	4,31	4,28
0	4,57	4,60	4,64	4,67	4,70	4,74	4,77	4,80	4,84	4,87
1	4,91	4,94	4,98	5,02	5,05	5,09	5,13	5,16	5,20	5,23
2	5,27	5,31	5,35	5,39	5,42	5,46	5,50	5,54	5,58	5,62
3	5,66	5,70	5,74	5,78	5,82	5,86	5,90	5,94	5,99	6,03
4	6,07	6,11	6,15	6,20	6,24	6,28	6,33	6,37	6,42	6,46
5	6,51	6,55	6,60	6,64	6,69	6,74	6,78	6,83	6,88	6,92
6	6,97	7,02	7,07	7,12	7,17	7,22	7,26	7,31	7,36	7,42
7	7,47	7,52	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94
8	7,99	8,05	8,10	8,15	8,21	8,27	8,32	8,38	8,43	8,49
9	8,55	8,61	8,66	8,72	8,78	8,84	8,90	8,96	9,02	9,08
10	9,14	9,20	9,26	9,32	9,39	9,45	9,51	9,58	9,64	9,70
11	9,77	9,83	9,90	9,96	10,03	10,09	10,16	10,23	10,30	10,36
12	10,43	10,50	10,57	10,64	10,71	10,72	10,85	10,95	10,99	10,07
13	11,14	11,21	11,28	11,36	11,43	11,50	11,58	11,66	11,73	11,81
14	11,88	11,96	12,04	12,12	12,19	12,27	12,35	12,43	12,51	12,59
15	12,67	12,76	12,84	12,92	13,00	13,09	13,17	13,25	13,34	13,42
16	13,51	13,60	13,68	13,77	13,86	13,95	14,04	14,12	14,21	14,30
17	14,40	14,49	14,58	14,67	14,73	14,86	14,95	15,04	15,14	15,23
18	15,33	15,43	15,52	15,62	15,72	15,82	15,92	16,02	16,12	16,22
19	16,32	16,42	16,52	16,63	16,73	16,83	16,94	17,04	17,15	17,26
20	17,36	17,47	17,58	17,69	17,80	17,91	18,02	18,13	18,24	18,35
21	18,47	18,58	18,69	18,81	18,92	19,04	19,16	19,27	19,39	19,51
22	19,63	19,75	19,87	19,99	20,11	20,24	20,36	20,48	20,61	20,73
23	20,86	20,98	21,11	21,24	21,37	21,50	21,63	21,76	21,89	22,02
24	22,15	22,29	22,42	22,55	22,67	23,83	22,96	23,10	23,24	23,38
25	23,52	23,66	23,80	23,94	24,08	24,23	24,37	24,52	24,66	24,81
26	24,96	25,10	25,25	25,40	25,55	25,70	25,86	26,01	26,16	26,32
27	26,47	26,63	26,78	26,94	27,10	27,26	27,42	27,58	27,74	27,90
28	28,07	28,23	28,39	28,56	28,73	28,89	29,06	29,23	29,40	29,57
29	29,74	29,92	30,09	30,26	30,44	30,62	30,79	30,97	31,15	31,33
30	31,51	31,69	31,87	32,06	32,24	32,43	32,61	32,80	32,99	33,18
31	33,37	33,56	33,75	33,94	34,14	34,33	34,53	34,72	34,92	35,12
32	35,32	35,52	35,72	35,92	36,13	36,33	36,54	35,74	36,95	37,16
33	37,37	37,58	37,79	38,00	38,22	38,43	38,65	38,87	39,08	39,30
34	39,52	39,74,00	39,97	40,19	40,41	40,64	40,87	41,09	41,32	41,55
35	41,78	42,02	42,25	42,48	42,72	42,96	43,19	43,43	43,67	43,92
36	44,16	44,40	44,65	44,89	45,14	45,39	45,64	45,89	46,14	46,39
37	46,65	46,90	47,16	47,42	47,68	47,94	48,20	48,46	48,73	48,99
38	49,26	49,53	49,80	50,07	50,34	50,61	50,89	51,16	51,44	51,72
39	52,00	52,28	52,56	52,84	53,13	53,41	53,70	53,99	54,28	54,57
40	54,87	55,16	55,39	55,75	56,05	56,35	56,65	56,95	57,26	57,56

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007).

[illegible][illegible][illegible]

**ANEXO F - DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO (°C) ATRAVÉS DA TEMPERATURA DO AR (T), EM °C E DA UMIDADE RELATIVA DO AR (U) EM %**

U	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	U
T	Temperatura do Ponto de Orvalho em °C																		T
6										0	1	2	3	4	5	6	6	6	6
7										0	1	2	3	4	5	6	6	7	7
8									0	1	2	3	4	5	6	7	7	8	8
9									0	2	3	4	5	6	7	7	8	9	9
10								0	1	3	4	5	6	7	8	8	9	10	10
11							0	1	2	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11
12							0	2	3	5	6	7	8	9	10	10	11	12	12
13						0	1	3	4	5	7	8	9	10	11	11	12	13	13
14						1	2	4	5	6	8	9	10	11	11	12	13	14	14
15					0	2	3	5	6	7	8	10	11	12	12	13	14	15	15
16					1	2	4	6	7	8	9	11	12	13	14	14	15	16	16
17					1	3	5	7	8	9	10	12	13	14	15	15	16	17	17
18				0	2	4	6	7	9	10	11	13	14	15	15	16	17	18	18
19				1	3	5	7	8	10	11	12	13	15	16	16	17	18	19	19
20				2	4	6	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20
21			0	3	5	7	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	21
22			1	4	6	8	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22
23			2	5	7	9	10	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23
24		0	3	5	8	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
25		1	4	6	9	11	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25
26		1	5	7	9	11	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	26
27		2	6	8	10	12	14	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26	27	27
28		3	6	9	11	13	15	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28
29		4	7	10	12	14	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29	29
30	0	5	8	11	13	15	17	18	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30	30
31	0	5	9	11	14	16	18	19	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31	31
32	1	6	10	12	15	17	19	20	22	23	25	26	27	28	29	30	31	32	32
33	2	7	11	13	16	18	20	21	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33	33
34	3	8	11	14	16	19	20	22	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34	34
35	4	9	12	15	17	19	21	23	25	26	27	29	30	31	32	33	34	35	35
36	5	10	13	16	18	20	22	24	25	27	28	30	31	32	33	34	35	36	36
37	6	10	14	17	19	21	23	25	27	28	29	31	32	33	34	35	36	37	37
38	7	11	15	17	20	22	24	26	27	29	30	32	33	34	35	36	37	38	38
39	8	12	15	18	21	23	25	27	28	30	31	33	34	35	36	37	38	39	39
40	9	13	16	19	22	24	26	28	29	31	32	34	35	36	37	38	39	40	40
41	9	14	17	20	23	25	27	29	30	32	33	34	36	37	38	39	40	41	41
42	10	14	18	21	23	26	28	29	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	42

Adaptado de Soares e Batista (2007).