

# FMA<sup>+</sup> - UM NOVO ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS PARA O ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

José Renato Soares Nunes\*, Ronaldo Viana Soares\*\*, Antônio Carlos Batista\*\*\*

\*Eng. Florestal, Dr., Pós-Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR - zerenato@floresta.ufpr.br

\*\*Eng. Florestal, Ph.D., Depto. de Ciências Florestais, UFPR - rvsoares@ufpr.br

\*\*\*Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR - batista@floresta.ufpr.br

Recebido para publicação: 10/11/2005 – Aceito para publicação: 28/03/2006

---

## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios florestais da região de Telêmaco Borba, estado do Paraná, Brasil. O objetivo consistiu em aperfeiçoar a Fórmula de Monte Alegre por meio da inclusão da variável velocidade do vento no índice. As variáveis referentes aos incêndios florestais foram a data de ocorrência, a hora de início e de término e a área queimada. Os dados se referem a um período de 5 anos, compreendido entre 01/06/1998 e 31/05/2003. Foram selecionados dois modelos exponenciais e, como eles usavam as classes de perigo originais, definidas na Fórmula de Monte Alegre, foi necessária a definição de novas classes, que fossem mais adequadas. Os modelos foram analisados e submetidos à análise de desempenho, utilizando-se o *skill score* e as porcentagens de sucesso de cada um, permitindo assim a definição do melhor modelo a ser incorporado à Fórmula de Monte Alegre, que passou a ter a seguinte representação:

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

*Palavras-chave:* Índice de perigo; efeitos do vento; proteção florestal.

## Abstract

*FMA<sup>+</sup> - a new wildfire danger index for the State of Paraná, Brazil.* This research was based on meteorological data and forest fire occurrences in Telêmaco Borba county, Parana State, Brazil. The main objective was to improve the Formula de Monte Alegre (FMA) through the inclusion of the wind speed to the index. The forest fire variables used were the date of occurrence, detection and suppressing time and the burned area. The collected data referred to a period of 5 years, from June 1998 to May 2003. Two exponential models were selected. The selected models used the original fire danger classes but definition of new classes were necessary, to adjust to the new models. The selected models had been analyzed and submitted to a performance analysis, using skill score and the percentages of success. The equation to calculate the new wildfire danger index, incorporating the wind speed is:

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

*Keywords:* Fire danger; wind effects; forest protection.

---

## INTRODUÇÃO

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições ou fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados à umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. A utilização de dados meteorológicos e climatológicos precisos é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais.

Dentre as medidas preventivas existentes, a utilização de um índice de perigo confiável é fator fundamental para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais, visando a redução das perdas e dos

prejuízos financeiros advindos da ocorrência de eventos catastróficos.

Outras utilidades dos índices de perigo de incêndio são o estabelecimento de zonas de risco, possibilitando um melhor planejamento das atividades de prevenção contra incêndios florestais, a definição da estação de incêndios, a permissão para queimas controladas em períodos menos perigosos, a previsão do comportamento do fogo visando a adoção de técnicas mais efetivas de combate e a advertência pública do grau de perigo, fator importantíssimo nos programas de educação ambiental, informando à população por meio dos veículos de comunicação, para que sejam adotadas medidas preventivas e, em casos extremos, limitando o acesso a áreas de risco e proibindo o uso de fogo em locais próximos às florestas ou outras formas de vegetação.

Apesar de estar sendo usada com sucesso no Paraná, em outras regiões do país e em alguns países da América do Sul, a Fórmula de Monte Alegre (FMA) (SOARES, 1972b) é um índice de perigo baseado em variáveis meteorológicas e enfatiza o aspecto da probabilidade de ignição, ou seja, indica a possibilidade de um incêndio ter início, desde que haja uma fonte de fogo.

A inclusão de uma variável que permita à Fórmula de Monte Alegre avaliar também o potencial de propagação do incêndio é de grande importância para seu aperfeiçoamento, tornando-a mais eficiente, tanto na prevenção quanto no combate aos incêndios que estejam ocorrendo. A velocidade do vento é uma variável meteorológica que possui grande influência na propagação de um incêndio florestal, e a sua inclusão na Fórmula de Monte Alegre pode torná-la mais eficiente.

Os objetivos principais deste trabalho foram: aperfeiçoar a Fórmula de Monte Alegre, por meio da inclusão da variável velocidade do vento ao índice, para que, além da probabilidade de ignição, como ocorre atualmente, o novo índice reflita também o potencial de propagação dos incêndios florestais; e avaliar o desempenho da Fórmula de Monte Alegre Alterada para o município de Telêmaco Borba, região central do estado do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

Foram utilizados dados da Klabin do Paraná, município de Telêmaco Borba, a 24°08' de latitude sul e 50°30' de longitude oeste, com altitude variando de 750 a 868 m. O clima da região de Telêmaco Borba, segundo a classificação de Köppen (TREWARTHA; HORN, 1980), é Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média do mês mais frio inferior a 16 °C, ocorrência de geadas e temperatura média do mês mais quente em torno de 22 °C. A precipitação média anual é 1.490 mm, com excedente hídrico de 557 mm/ano.

Para analisar a eficiência dos modelos propostos, foram obtidos, junto à Klabin do Paraná, dados meteorológicos diários de umidade relativa e vento às 13:00 h e precipitação e informações sobre ocorrências de incêndios, tais como data de ocorrência, hora de início e de término e área queimada, para o período compreendido entre 01/06/1998 e 31/05/2003.

### Incorporação do efeito da velocidade do vento à Fórmula de Monte Alegre

A forma geral da Fórmula de Monte Alegre Alterada, referenciada como FMA<sup>+</sup>, passa a ter a seguinte representação geral:

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n (100/H_i) \cdot fp$$

onde: FMA<sup>+</sup> = Fórmula de Monte Alegre Alterada;  
H = umidade relativa do ar (%), medida às 13:00 h;  
n = número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm;  
fp = fator de propagação calculado pelos modelos lineares e exponenciais.

Foram considerados dois cenários referentes à influência da velocidade do vento sobre o índice obtido pela Fórmula de Monte Alegre. No primeiro cenário, foram estudados oito modelos que consideravam um efeito linear da velocidade do vento sobre o índice. Esses modelos são citados ao longo deste trabalho como FMAVL1, FMAVL2, FMAVL3, FMAVL4, FMAVL5, FMAVL6, FMAVL7 e FMAVL8 e foram gerados com base nas equações:

- a) FMAVL1 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,05 v)$
- b) FMAVL2 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,10 v)$
- c) FMAVL3 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,15 v)$
- d) FMAVL4 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,20 v)$
- e) FMAVL5 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,25 v)$
- f) FMAVL6 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,30 v)$
- g) FMAVL7 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,35 v)$
- h) FMAVL8 - gerado pela equação:  $fp = 1+(0,40 v)$

onde: fp = fator de propagação;

v = velocidade do vento em m/s, medida às 13:00 h.

No segundo cenário, foram propostos e estudados seis modelos, considerando um efeito exponencial da velocidade do vento sobre o índice gerado pela Fórmula de Monte Alegre, com base no modelo proposto por Van Wagner (1987), que também foi incluído nos testes. Esses modelos são citados neste trabalho como VWagner, FMAVE1, FMAVE2, FMAVE3, FMAVE4, FMAVE5 e FMAVE6 respectivamente e foram gerados com base nas equações:

- a) VWagner - gerado pela equação:  $fp = e^{0,05039 v}$
- b) FMAVE1 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,04 v}$
- c) FMAVE2 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,06 v}$
- d) FMAVE3 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,07 v}$
- e) FMAVE4 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,08 v}$
- f) FMAVE5 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,09 v}$
- g) FMAVE6 - gerado pela equação:  $fp = e^{0,10 v}$

onde: fp = fator de propagação;

v = velocidade do vento em m/s, medida às 13:00 h;

e = base dos logaritmos naturais, igual a 2,718282.

Com base nas equações que geraram os fatores de propagação lineares e exponenciais, foi desenvolvido um programa na Linguagem Pascal, com o fim de determinar os índices de perigo e os respectivos graus de perigo pela Fórmula de Monte Alegre Alterada, na região de Telêmaco Borba, para todos os dias compreendidos entre 01/06/1998 e 31/05/2003.

A característica de ser um índice acumulativo baseado na umidade relativa foi mantida. No entanto, o fator de propagação foi obtido com base na velocidade do vento das 13:00 h, não sendo acumulativo. As restrições referentes à precipitação permaneceram as mesmas da Fórmula de Monte Alegre original.

### **Validação e testes do novo modelo**

Para validar o novo modelo, foram utilizados dados meteorológicos de umidade relativa, precipitação e vento, e dados de ocorrência de incêndios, como a hora de início e de término e a área queimada, para o período estudado, fornecidos pela Klabin do Paraná, para a região de Telêmaco Borba. Esses dados foram submetidos aos programas desenvolvidos para se determinar os graus de perigo para cada um dos modelos propostos.

### **Distribuição diária dos graus de perigo, das ocorrências de incêndios e das áreas queimadas**

Foram quantificados e analisados o número de dias para cada classe de grau de perigo e os percentuais que eles representam em cada classe de grau de perigo, para cada modelo proposto. As ocorrências de incêndios e as áreas queimadas na Klabin do Paraná foram analisadas ao longo do período abrangido por este estudo. Foram analisadas as ocorrências de incêndios, as áreas queimadas e seus percentuais e a área queimada média por incêndio em cada classe de grau de perigo, para cada um dos modelos.

### **Desempenho dos modelos**

Para comparar os modelos, foi utilizado o método conhecido como *skill score* (SAMPAIO, 1999), que se baseia em uma tabela de contingência que contém os valores observados e os valores previstos para um evento em

uma população. As tabelas 1 e 2 ilustram como são realizados os cálculos para se obter o *skill score*.

Tabela 1. Tabela de contingência.

Table 1. Contingency table.

	Evento	Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	a	b	N2 = a + b
	Não incêndio	c	d	N4 = c + d
Total observado		N1 = a + c	N3 = b + d	N = a + b + c + d

Tabela 2. Cálculos da tabela de contingência.

Table 2. Contingency table calculations.

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

As variáveis necessárias para a realização dos cálculos são:

N = Número total de observações = a + b + c + d

G = Número de acertos na previsão = a + d

H = Número esperado de acertos = N . (1 - p) . (1 - q) + N . p . q

p = N1 / N

q = N2 / N

SS = *Skill score* = (G - H) / (N - H)

PS = Porcentagem de sucesso = G / N

O *skill score* (SS) é a razão da diferença entre os acertos na previsão (G) e o número esperado de acertos (H) e a diferença entre o número de dias observados (N) e o número de dias com previsão de acertos. Para analisar o desempenho de cada modelo, foi definido um ponto que serve de limite entre a ocorrência e a não-ocorrência de incêndio, com base na escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre. Considerou-se como não indicativo da probabilidade de ocorrência de incêndios os graus de perigo Nulo e Pequeno e como indicativos da probabilidade de ocorrência de incêndio os graus de perigo Médio, Alto e Muito Alto. Com base nessa definição, foram calculados o *skill score* e as porcentagens de sucesso para cada modelo proposto. Os resultados obtidos foram analisados, permitindo identificar os modelos que apresentavam melhor desempenho.

#### Aferição dos modelos selecionados

Como os modelos selecionados usavam as classes de perigo originais definidas na Fórmula de Monte Alegre, foi necessária a definição de novas classes que fossem mais adequadas aos novos modelos. Foram realizadas análises numéricas e gráficas em cada uma dessas variáveis, com o objetivo de se definir os limites de cada classe de perigo que iria compor a nova tabela de classes de perigo. Estabeleceu-se que o número de dias previstos em cada classe de perigo deveria ter uma relação inversa com a classe de perigo, de tal maneira que, quanto maior a classe de perigo, menor o número de dias previstos para ela.

Em relação às variáveis número de incêndios ocorridos, área queimada e área queimada média em cada classe de perigo, procurou-se estabelecer uma relação direta, de tal maneira que quanto maior a classe de perigo, maiores os valores observados para essas variáveis. Uma vez definidos os critérios, foram propostas novas classes de perigo para os modelos selecionados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Definição dos modelos lineares

Para se ter uma idéia do comportamento dos oito modelos lineares, os valores de fatores de propagação obtidos são apresentados graficamente na figura 1.

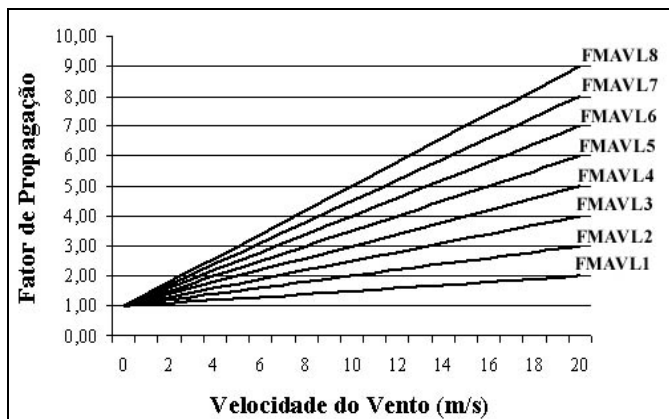


Figura 1. Fatores de propagação lineares.

Figure 1. Linear spread rates.

### Definição dos modelos exponenciais

Para se ter uma idéia do comportamento dos sete modelos exponenciais, os valores de fatores de propagação obtidos são apresentados graficamente na figura 2.

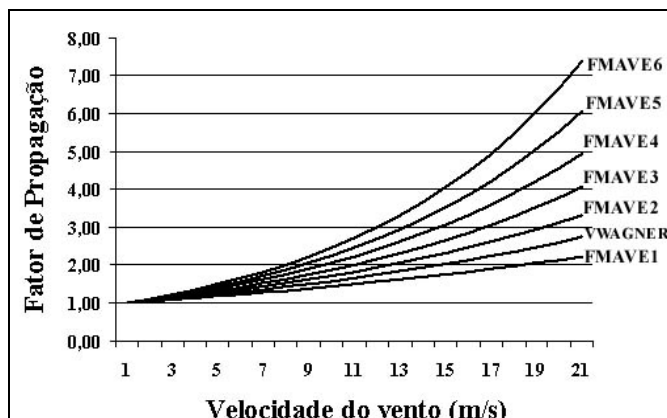


Figura 2. Fatores de propagação exponenciais.

Figure 2. Exponential spread rates.

### Definição dos procedimentos computacionais

Segundo Viegas *et al.* (1994), a melhor forma de comparar diferentes índices de perigo de incêndios florestais é submetê-los aos mesmos dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios. A seguir são apresentadas as comparações entre os modelos propostos, com a finalidade de verificar o desempenho de cada um deles.

Com base nos oito modelos lineares e nos sete modelos exponenciais propostos, foram desenvolvidos programas na linguagem Pascal visando gerar os índices de perigo diários para a região de Telêmaco Borba. Além de se apresentar os índices gerados para a Fórmula de Monte Alegre Alterada que incorpora a velocidade do vento, é apresentado também o índice gerado pela Fórmula de Monte Alegre sem considerar a velocidade do vento.

### Número de dias previstos pelos modelos por classe de perigo

A primeira comparação realizada entre os modelos refere-se ao número de dias previstos em cada classe de perigo. Na figura 3, observam-se os valores obtidos pelos modelos lineares. Verifica-se uma tendência dos modelos lineares de concentrarem o percentual de número de dias nas classes de perigo mais altas. Essa tendência chega próximo a 60%, se forem consideradas as classes Alto e Muito Alto para o modelo FMAVL8. Por outro lado, o percentual do número de dias nas classes Nulo, Pequeno e Médio ficou em torno de 40% para o modelo FMAVL8.

Observou-se também que a concentração do número de dias nas classes Alto e Muito Alto foi crescente, do modelo FMAVL1 para o modelo FMAVL8.

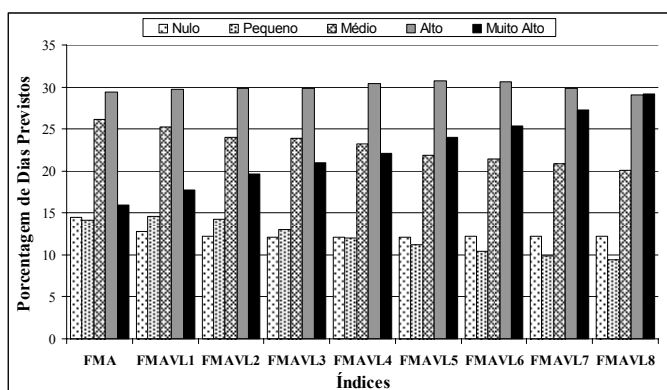


Figura 3. Porcentagem do número de dias previstos em cada nível de perigo para os modelos lineares.  
Figure 3. Percentages of the number of days for each fire danger level for the linear models.

Na figura 4, verifica-se também a tendência de os modelos exponenciais concentrarem o percentual de número de dias nas classes de perigo mais altas. No entanto, essa tendência foi menor do que a observada para os modelos lineares, ficando próximo a 50%, quando consideradas as classes de perigo Alto e Muito Alto para o modelo FMAVE6. Por outro lado, o percentual de número de dias nas classes de perigo Nulo, Pequeno e Médio somadas ficou em torno de 50% para o modelo FMAVE6.

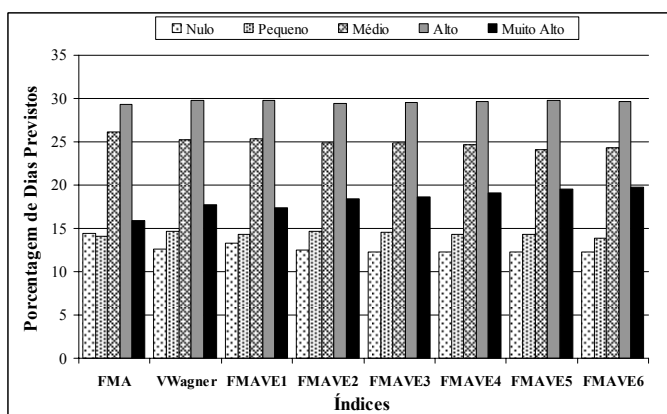


Figura 4. Porcentagem do número de dias previstos em cada nível de perigo para os modelos exponenciais.  
Figure 4. Percentages of the number of days for each fire danger level for the exponential models.

Observou-se também que a concentração do percentual de número de dias nas classes de perigo Alto e Muito alto foi crescente, do modelo FMAVE1 para o modelo FMAVE6.

Soares (1998b), fazendo comparação entre a Fórmula de Monte Alegre e o IPIR (Índice de Perigo de Incêndios da Rigesa) no município de Três Barras, no estado de Santa Catarina, encontrou a mesma tendência para a Fórmula de Monte Alegre, tendo encontrado os percentuais de 31,9 e 17,7% para as classes de perigo Alto e Muito Alto, respectivamente. O mesmo autor observou que 67,8% do número de dias ficaram na classe de perigo Nulo/Baixo.

### Ocorrência de incêndios florestais

Na figura 5, observa-se a distribuição das ocorrências de incêndios nas classes de perigo e os respectivos percentuais para os modelos lineares. Verificou-se uma tendência de os incêndios se concentrarem nas classes de perigo Alto e Muito Alto, variando de 80 a 90% se for considerado o somatório dessas duas classes. Essa tendência foi crescente do modelo FMAVL1 para o modelo FMAVL8, e, apesar de ser uma situação desejável, observou-se uma distribuição desbalanceada, com forte concentração nas classes de perigo Alto e Muito Alto, quando se comparou com a Fórmula de Monte Alegre, que apresentou uma melhor distribuição.

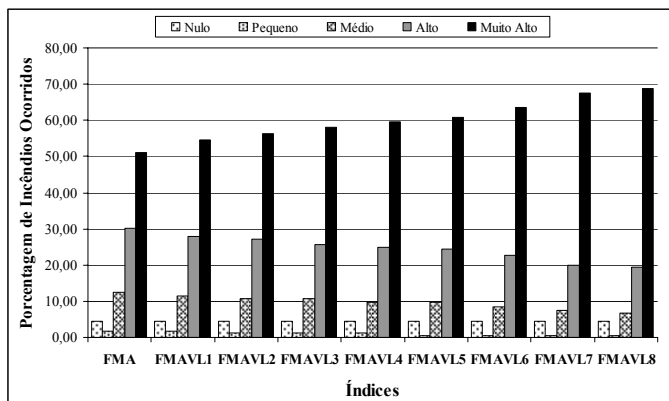


Figura 5. Porcentagem de incêndios ocorridos em cada nível de perigo para os modelos lineares.  
Figure 5. Percentage of forest fire recorded in each danger level for the linear models.

Na figura 6, são apresentados os valores obtidos pelos modelos exponenciais. Verificou-se também uma tendência de os incêndios se concentrarem nas classes de perigo Alto e Muito Alto. No entanto, esses valores foram menores que os valores observados para os modelos lineares, variando entre 81 e 84% considerando-se essas duas classes de perigo. Essa tendência foi crescente do modelo FMAVE1 para o modelo FMAVE6, e, apesar de ser também uma situação desejável, observou-se uma distribuição desbalanceada, com forte concentração nas classes de perigo Alto e Muito Alto, quando se comparou com a Fórmula de Monte Alegre, que apresentou uma melhor distribuição.

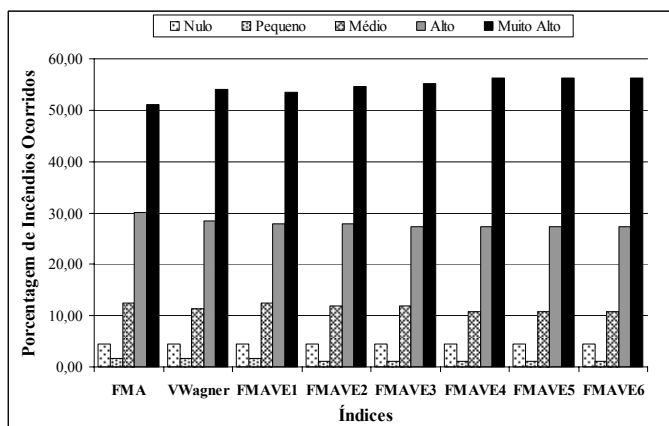


Figura 6. Porcentagem de incêndios ocorridos em cada nível de perigo para os modelos exponenciais.  
Figure 6. Percentage of forest fire recorded in each danger level for the exponential models.

Soares (1998a) analisou a distribuição da ocorrência de incêndios no distrito florestal de Monte Alegre e observou que, no período de 1965 a 1971, os percentuais foram de 27,5 e 50,7% para as classes de perigo Alto e Muito Alto e, no período de 1971 a 1990, de 31,7 e 52,5%, respectivamente.

Soares (1998b), analisando dados do norte do estado de Santa Catarina, observou que enquanto 87% dos incêndios ocorreram em dias em que a Fórmula de Monte Alegre indicava grau de perigo muito alto, nenhuma ocorrência foi observada pelo IPIR. De acordo com o IPIR, a maioria (45,8%) dos incêndios ocorreram quando as condições de perigo indicadas pelo índice eram moderadas, subestimando o grau de perigo de incêndios.

### Áreas queimadas

Na figura 7, são apresentados os valores e os percentuais de áreas queimadas, referentes à escala de perigo para os modelos lineares. Verificou-se que os modelos lineares apresentaram uma tendência crescente de percentuais de área queimada da classe de perigo Nulo para a classe de perigo Muito Alto, o que é uma situação desejável. No entanto, superestimaram a área queimada na classe de perigo Muito Alto, com percentuais que variaram entre 68 e 83% da área queimada nessa classe.

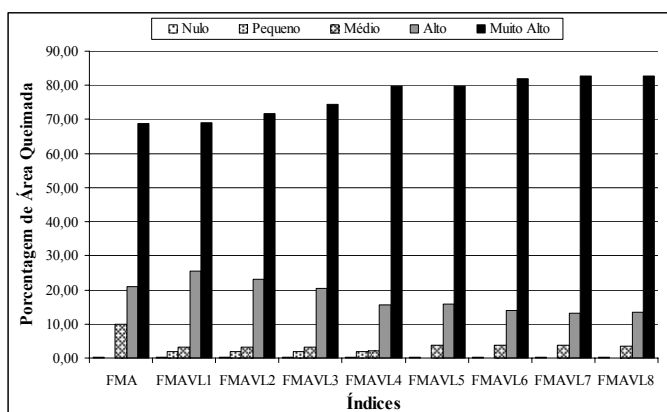


Figura 7. Porcentagem de área queimada em cada nível de perigo para os modelos lineares.

Figure 7. Percentage of burned area for each danger level for the linear models.

Na figura 8, observam-se os valores obtidos pelos modelos exponenciais. Verificou-se que os modelos exponenciais também apresentaram uma tendência crescente de percentuais de área queimada da classe Nulo para a classe Muito Alto. No entanto, apesar de superestimar a área queimada na classe Muito Alto, os percentuais ficaram praticamente constantes, próximos a 70% da área queimada nessa classe de perigo para todos os modelos. Esses valores estão situados em um patamar bem menor do que aqueles apresentados pelos modelos lineares.

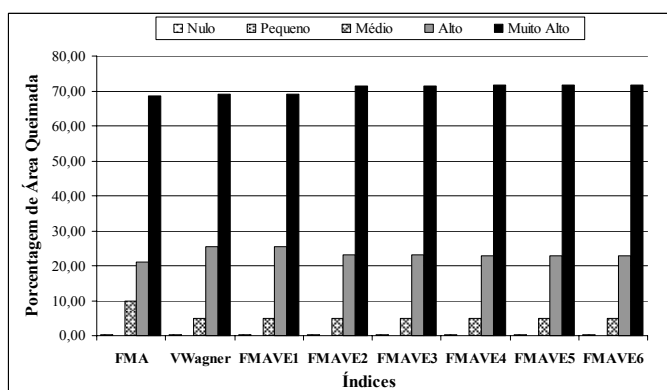


Figura 8. Porcentagem de área queimada em cada nível de perigo para os modelos exponenciais.

Figure 8. Percentage of burned area for each danger level for the exponential models.



Soares (1998a) analisou a distribuição de áreas queimadas por classe de perigo comparando o índice de perigo de incêndios da Rigesa (IPIR) e a Fórmula de Monte Alegre e observou que 99,2% da área queimada ocorreu na classe de perigo Muito Alto para a FMA e que o IPIR apresentou os percentuais de 46,5, 15,1 e 38,4% nas classes Médio, Alto e Muito Alto, respectivamente.

### Áreas queimadas médias por incêndios

Na figura 9, são apresentados os valores obtidos pelos modelos lineares. Verifica-se que os modelos lineares FMAVL1, FMAVL2, FMAVL3 e FMAVL4 superestimaram a área queimada média na classe Pequeno. Os demais modelos apresentaram distribuição semelhante em relação às áreas queimadas médias em cada classe de perigo.

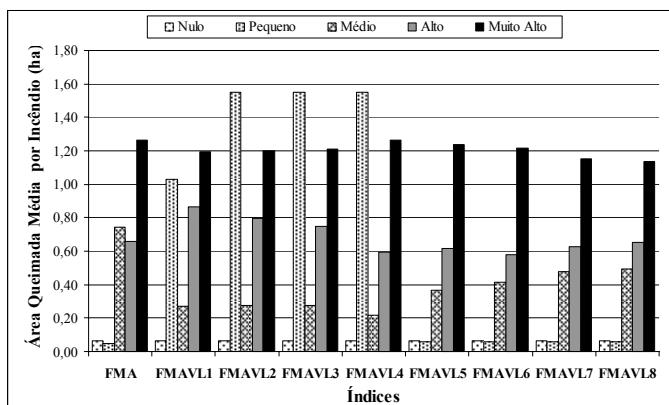


Figura 9. Área queimada média em cada nível de perigo para os modelos lineares.  
Figure 9. Average burned area for each fire danger level for the linear models.

Na figura 10, são mostrados os valores obtidos pelos modelos exponenciais. Verificou-se que os modelos exponenciais apresentaram um comportamento muito semelhante no que se refere à área queimada média em cada classe de perigo, com valores crescentes nas classes Médio, Alto e Muito Alto, respectivamente, e uma pequena inversão decrescente nas classes Nulo e Pequeno.

Soares (1998a) encontrou, no norte do estado de Santa Catarina, para o período de janeiro de 1988 a setembro de 1995, valores de área queimada média de 1,2 e 24,1 ha/incêndio para as classes Alto e Muito Alto, respectivamente.

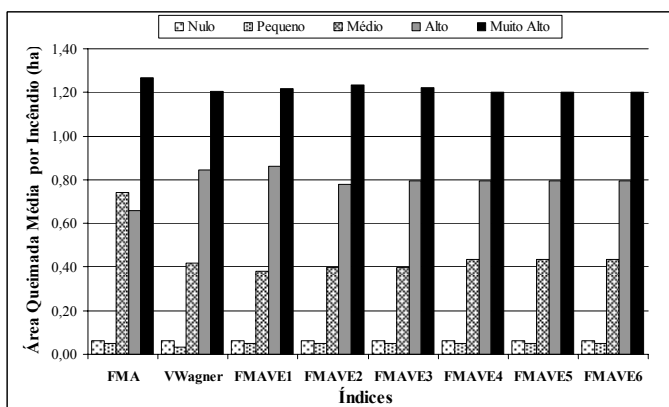


Figura 10. Área queimada média em cada nível de perigo para os modelos exponenciais.  
Figure 10. Average burned area for each fire danger level for the exponential models.

### Seleção dos melhores modelos

Foram calculados o *skill score* e as porcentagens de sucesso para cada modelo proposto. As figuras 11 e 12 apresentam os valores obtidos para o *skill score* e a porcentagem de sucesso para todos os modelos estudados. Pode-se observar que os modelos exponenciais, de uma maneira geral, apresentaram melhores resultados do que os lineares. Os modelos lineares apresentaram valores de *skill score* variando de 0,0357 a 0,0473, enquanto os modelos exponenciais apresentaram valores variando de 0,0462 a 0,0491. Os modelos lineares e os exponenciais apresentaram valores de porcentagem de sucesso variando de 28,12 a 32,52, e de 32,17 a 33,37, respectivamente. Pode-se observar que a FMA apresentou resultados superiores aos modelos propostos por estar sendo usada a sua escala de perigo.

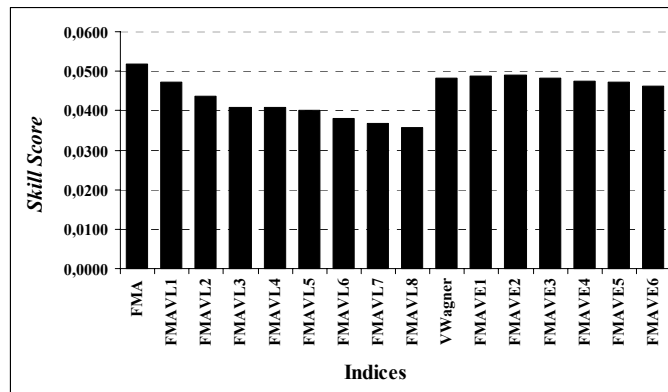


Figura 11. Valores obtidos de *skill score* para os modelos lineares.  
Figure 11. Skill score values for the linear models.

Como o desempenho dos modelos exponenciais FMAVE1 e FMAVE2 foram considerados os melhores e apresentam valores bastante próximos, optou-se por submeter os dois a novos testes de desempenho, depois de se proceder a uma aferição dos mesmos.

### Aferição dos modelos selecionados

O passo seguinte para a escolha do melhor modelo foi fazer a aferição da escala de perigo para os dois modelos selecionados, uma vez que até esse ponto estava sendo usada a escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre original. A partir das premissas de que o número de dias previstos em cada classe de perigo deveria ter uma relação inversa com a classe de perigo e que as variáveis número de incêndios ocorridos, área queimada e área queimada média em cada classe de perigo tivessem uma relação direta com a classe de perigo, foi estabelecida uma nova escala de perigo, como mostra a tabela 3, com as alterações nos limites de cada classe.

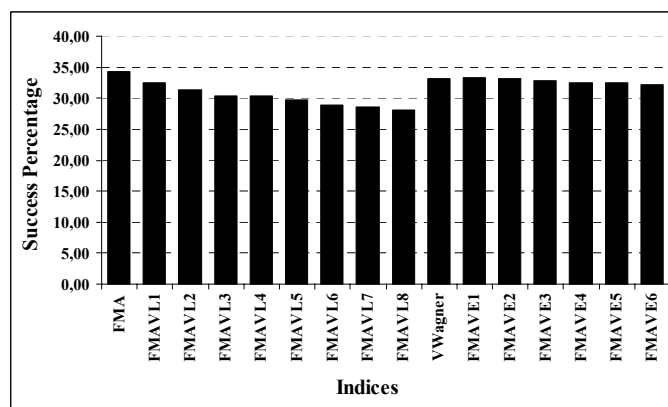


Figura 12. Valores obtidos de *skill score* para os modelos exponenciais.  
Figure 12. Skill score values for the exponential models.

Tabela 3. Escala de perigo para a FMA e a FMA<sup>+</sup>.

Table 3. FMA and FMA<sup>+</sup> fire danger classes.

Valor da FMA	Valor da 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

Após a criação das novas classes de perigo, foram calculados os índices de perigo para os modelos FMAVE1 e FMAVE2, incluindo as novas classes de perigo definidas. Os modelos foram submetidos a uma análise de desempenho, utilizando-se o método *skill score*, com a determinação do índice e das porcentagens de sucesso para os mesmos.

#### Número de dias em cada classe de perigo previsto pelos modelos selecionados

Com base nos modelos FMAVE1 e FMAVE2, foram analisados o número de dias em cada classe de perigo para a região de Telêmaco Borba. Na tabela 4 e na figura 13, observam-se os valores obtidos pelos modelos. Verificou-se que os dois modelos apresentaram distribuição semelhante em relação ao número de dias previstos e aos valores percentuais de número de dias previstos em cada grau de perigo. Observou-se que os maiores percentuais (27,60 e 27,22%) se referem à classe de perigo Nulo e que decresceram nas classes de perigo Pequeno, Médio, Alto e Muito Alto, progressivamente.

Tabela 4. Número de dias previstos em cada nível de perigo.

Table 4. Number of days for each fire danger level.

Grau de perigo	FMAVE1		FMAVE2	
	nº	%	nº	%
<b>Dias no período</b>				
Nulo	504	27,60	497	27,22
Pequeno	463	25,36	455	24,92
Médio	351	19,22	348	19,06
Alto	278	15,22	283	15,50
Muito alto	230	12,60	243	13,31
Total	1826	100,00	1826	100,00

A distribuição observada é uma condição desejável para o comportamento do número de dias previstos e foi uma das premissas consideradas para a aferição dos novos modelos.

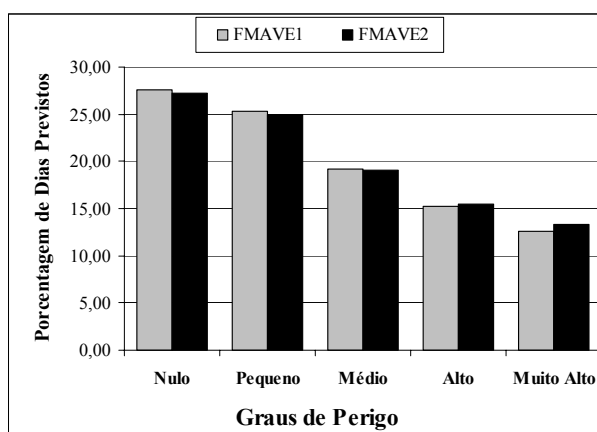


Figura 13. Porcentagem do número de dias previstos em cada nível de perigo.

Figure 13. Percentages of the number of days for each fire danger level.

### Ocorrência de incêndios florestais

Com base nos modelos FMAVE1 e FMAVE2, foram analisadas as ocorrências de incêndios florestais observadas em cada classe de perigo. Na tabela 5 e na figura 14, observam-se os valores obtidos pelos modelos para o número de incêndios registrados e os respectivos percentuais para cada classe de perigo. Verificou-se que os dois modelos apresentaram distribuição semelhante em relação ao número e ao percentual de ocorrência de incêndios florestais em cada grau de perigo. Os maiores percentuais referem-se à classe de perigo Muito Alto e decrescem nas classes de perigo Alto, Médio, Pequeno e Nulo, progressivamente.

Tabela 5. Distribuição do número de incêndios registrados em cada nível de perigo.

Table 5. Recorded fire occurrences distribution per danger level.

Grau de perigo	FMAVE1		FMAVE2	
	nº	%	nº	%
<b>Incêndios registrados no período</b>				
Nulo	9	5,11	13	7,39
Pequeno	20	11,36	19	10,80
Médio	22	12,50	22	12,50
Alto	42	23,86	37	21,02
Muito alto	83	47,16	85	48,30
Total	176	100,00	176	100,00

### Áreas queimadas pelos incêndios florestais

Na tabela 6 e na figura 15, observam-se os valores e os percentuais de área queimada obtidos pelos modelos. Verificou-se que os dois modelos apresentaram distribuição semelhante em relação às áreas queimadas e respectivos percentuais em cada classe de perigo. Os maiores percentuais (59,82 e 68,49%) se concentraram na classe de perigo Muito Alto e decresceram nas classes de perigo Alto, Médio, Pequeno e Nulo, progressivamente.

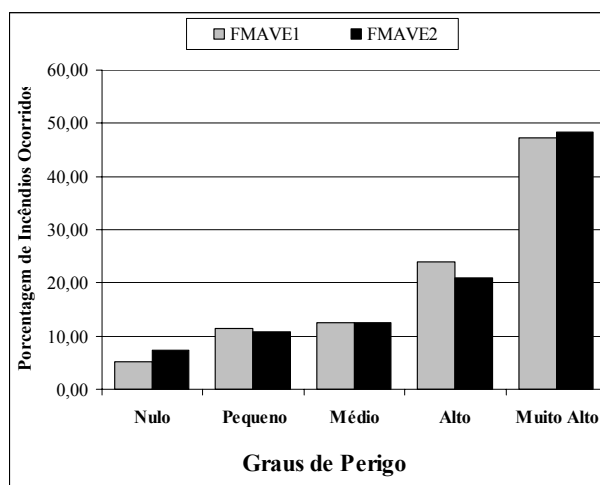


Figura 14. Porcentagem de incêndios ocorridos em cada nível de perigo.

Figure 14. Percentage of forest fire recorded in each danger level.

### Áreas queimadas médias por incêndios

Com base nos modelos FMAVE1 e FMAVE2, foram analisadas as áreas queimadas médias por incêndio em cada classe de perigo para a região de Telêmaco Borba.

Na tabela 7 e na figura 16, observam-se os valores obtidos pelos modelos. Verificou-se que os dois modelos apresentaram distribuição semelhante em relação às áreas queimadas em cada grau de perigo. Observou-se que os maiores valores (1,20 e 1,27 ha/incêndio), para ambos os modelos se concentraram na classe de perigo Muito Alto e decresceram nas classes de perigo Alto, Médio, Pequeno e

Nulo, progressivamente. Segundo Soares (1998a), os baixos valores de áreas queimadas médias por incêndio são desejáveis, pois indicam boa eficiência no seu controle.

Tabela 6. Distribuição da área queimada em cada nível de perigo.  
Table 6. Burned area distribution per danger level.

Grau de perigo	FMAVE1		FMAVE2	
	ha	%	ha	%
<b>Área queimada no período</b>				
Nulo	0,25	0,15	0,97	0,58
Pequeno	5,34	3,22	5,64	3,40
Médio	18,89	11,39	11,14	6,72
Alto	42,16	25,42	34,51	20,81
Muito alto	99,21	59,82	113,59	68,49
Total	165,85	100,00	165,85	100,00

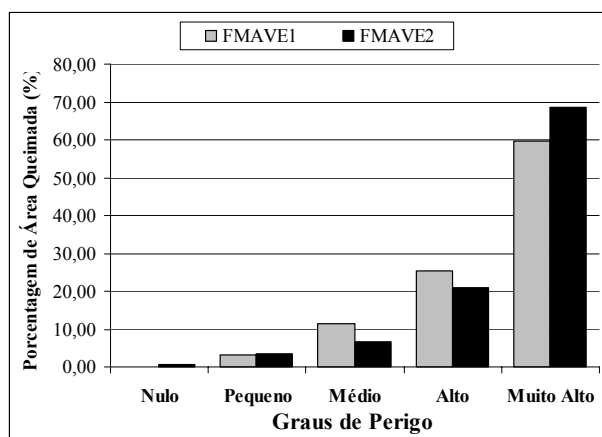


Figura 15. Porcentagem de área queimada em cada nível de perigo.  
Figure 15. Percentage of burned area for each danger level.

Tabela 7. Distribuição da área queimada média por incêndio em cada nível de perigo.  
Table 7. Average burned area distribution per fire danger level.

Grau de perigo	Área média queimada por incêndio (ha)	
	FMAVE1	FMAVE2
Nulo	0,03	0,03
Pequeno	0,27	0,28
Médio	0,86	0,91
Alto	1,00	1,07
Muito alto	1,20	1,27
Total	3,35	3,56

As tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam os cálculos de desempenho para os modelos FMAVE1 e FMAVE2, seguindo a mesma metodologia adotada anteriormente para o cálculo do desempenho de todos os modelos.

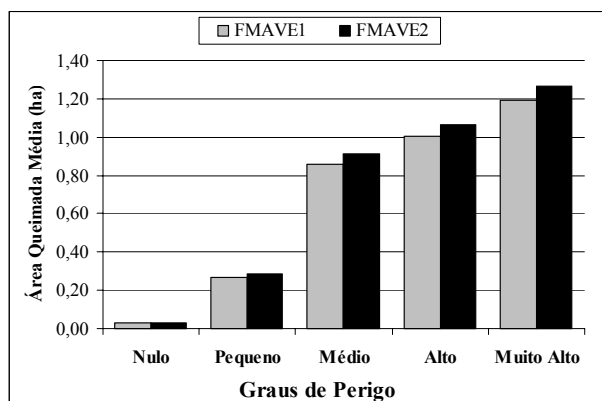


Figura 16. Área queimada média em cada nível de perigo.  
Figure 16. Average burned area for each fire danger level.

Tabela 8. Tabela de contingência para o modelo FMAVE1.

Table 8. Contingency table for the FMAVE1 model.

FMAVE1 – Tabela de contingência				
Evento		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	147	859	1,006
	Não incêndio	29	967	996
Total observado		176	1.826	2,002

Tabela 9. Predições para o modelo FMAVE1.

Table 9. FMAVE1 model predictions.

FMAVE1 – Cálculos				
Evento		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	0,8352	0,4704	1,3057
	Não incêndio	0,1648	0,5296	0,6943
Total observado		1	1	2

Tabela 10. Tabela de contingência para o modelo FMAVE2.

Table 10. Contingency table for the FMAVE2 model.

FMAVE2 – Tabela de contingência				
Evento		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	144	874	1.018
	Não incêndio	32	952	984
Total observado		176	1.826	2.002

Tabela 11. Cálculos para o modelo FMAVE2.

Table 11. FMAVE2 model predictions.

FMAVE2 – Cálculos				
Evento		Observado		Total previsto
		Incêndio	Não incêndio	
Previsto	Incêndio	0,8182	0,4786	1,2968
	Não incêndio	0,1818	0,5214	0,7032
Total observado		1	1	2

A tabela 12 apresenta os valores obtidos para os modelos FMAVE1 e FMAVE2, que foram de 0,1165 e 0,1074 para o *skill score* e 55,64 e 54,75 para a porcentagem de sucesso, respectivamente.

Sampaio (1999) obteve para a Fórmula de Monte Alegre original os valores de 0,0607 para o *skill score* e 36,92 para a porcentagem de sucesso, e para a Fórmula de Monte Alegre aferida os valores de 0,0877 para o *skill score* e 46,26 para a porcentagem de sucesso para a região de Agudos, Estado de São Paulo.

Observa-se que os valores de desempenho dos modelos FMAVE1 e FMAVE2 foram superiores aos obtidos por Sampaio (1999). Pelos valores apresentados na tabela 12 e nas figuras 17 e 18, pode-se observar que o desempenho do modelo FMAVE1 foi superior ao do modelo FMAVE2. Dessa forma, o modelo FMAVE1 foi incorporado à Fórmula de Monte Alegre, dando origem a um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná.

Tabela 12. Valores obtidos de *skill score* e porcentagem de sucesso para os dois modelos.  
Table 12. Skill score values and success percentage for the two models.

Índice	<i>Skill score</i>	Porcentagem de sucesso
FMAVE1	0,1165	55,64
FMAVE2	0,1074	54,75

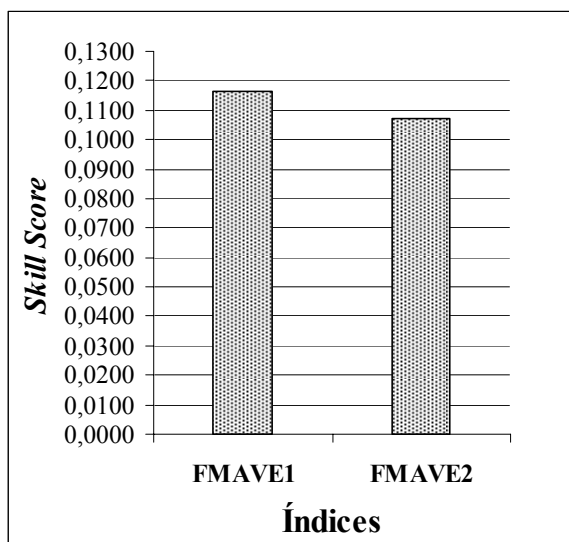


Figura 17. Valores obtidos de *skill score* para os dois modelos.  
Figure 17. Skill score values for the two models.

### O novo índice de perigo de incêndios para o estado do Paraná

A Fórmula de Monte Alegre Alterada – FMA (NUNES, 2005), que inclui o modelo de velocidade do vento selecionado, passa a ter a seguinte representação:

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

onde: FMA<sup>+</sup> = Fórmula de Monte Alegre Alterada;  
H = umidade relativa do ar em porcentagem, medida às 13:00 h;  
n = número de dias sem chuva maior ou igual a 13,0 mm;  
v = velocidade do vento em m/s, medida às 13:00h;  
e = base dos logaritmos naturais (2,718282).

Por ser acumulativo no que se refere à umidade relativa, o índice está sujeito a restrições de

precipitação, como mostra a tabela 13. Como o efeito do vento não possui característica acumulativa, será aplicado à fórmula o valor da velocidade do vento às 13:00 h de cada dia.

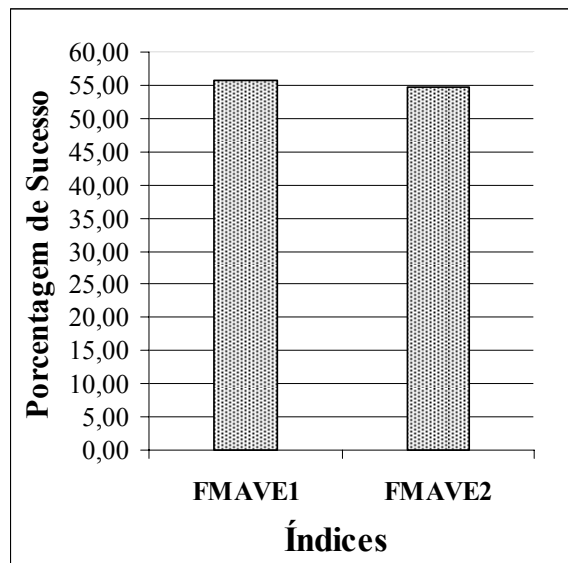


Figura 18. Valores obtidos de porcentagem de sucesso para os dois modelos.  
Figure 18. Success percentage for the two models.

Tabela 13. Restrições ao somatório de  $FMA^+$ , de acordo com a precipitação do dia.  
Table 13. Restrictions to the daily  $FMA^+$  summation according to the daily precipitation.

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
$\leq 2,4$	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
$> 12,9$	Interromper o cálculo ( $FMA = 0$ ) e recomençar o somatório no dia seguinte ou quando a precipitação for menor ou igual a 2,4

A interpretação do grau de perigo estimado pela  $FMA^+$  é feita através de uma escala, apresentada na tabela 14.

Tabela 14. Escala de perigo da  $FMA^+$ .  
Table 14. Forest fire danger scale for the  $FMA^+$ .

Valor de $FMA^+$	Grau de perigo
$\leq 3,0$	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeno
8,1 a 14,0	Médio
14,1 a 24,0	Alto
$> 24,0$	Muito alto



## CONCLUSÕES

Com base nos estudos e análises realizados neste trabalho, pode-se concluir que:

- A Fórmula de Monte Alegre Alterada – FMA<sup>+</sup>, que inclui o modelo de velocidade do vento selecionado, validada para a Região de Telêmaco Borba, tem a seguinte representação:

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

- A análise da eficiência do novo índice (FMA<sup>+</sup>) mostrou que houve uma relação inversa entre o número de dias previstos e as classes de perigo, ou seja, à medida que aumenta a classe de perigo o número de dias previstos por classe diminui.
- A análise da eficiência do novo índice, baseada na distribuição de incêndios ocorridos, nas áreas queimadas e na área queimada média para as classes de perigo, mostrou uma relação direta entre essas variáveis e as classes de perigo, ou seja, à medida que aumenta a classe de perigo, o número de incêndios ocorridos, as áreas queimadas e a área queimada média por classe de perigo aumentam.

## REFERÊNCIAS

- NUNES, J. R. S. **FMA<sup>+</sup> - Um Novo Índice de Perigo de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná – Brasil**. Curitiba, 2005 150p. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SAMPAIO, O. B. **Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP**. Curitiba, 1999. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.
- SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil**. Turrialba, Costa Rica, CATIE/IICA., 72 p. (Tese de Mestrado). 1972b.
- SOARES, R. V. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndios florestais.. **Cerne**, v. 04, n. 1, p.87-99. 1998a.
- SOARES, R. V. Comparação entre o Índice de Perigo de Incêndio da Rigesa e a “Fórmula de Monte Alegre” 10 p. 1998b (não publicado).
- TREWARTHA, G. T.; HORN, L. H. Köppen's classification of climates. In: An Introduction to climate. McGraw-Hill, New York, pp. 397-403. 1980.
- VAN WAGNER, C. E. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system. **Canadian Forest Service**. Ontario. 37 p. 1987.
- VIEGAS, D. X. *et al* Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. In: **International Conference On Forest Fire Research**, 2, Coimbra, 1994. Proceedings. Coimbra: Society of American forests, p.571-590. 1994.