

DESEMPENHO DA FÓRMULA DE MONTE ALEGRE (FMA) E DA FÓRMULA DE MONTE ALEGRE ALTERADA (FMA⁺) NO DISTRITO FLORESTAL DE MONTE ALEGRE

José Renato Soares Nunes¹, Ivone Satsuki Namikawa Fier², Ronaldo Viana Soares³,
Antonio Carlos Batista³

¹Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil

²Eng^a Florestal, M.Sc., Indústrias Klabin do Paraná, Telêmaco Borba, PR, Brasil - namikawa@klabinpr.com.br

³Eng. Florestal, Dr, Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - rvssoares@ufpr.br - batistaufpr@ufpr.br

Recebido para publicação: 24/09/2008 – Aceito para publicação: 24/06/2009

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido a partir de dados meteorológicos para o Distrito Florestal de Monte Alegre, localizado no município de Telêmaco Borba, estado do Paraná. A base de dados climatológicos usada foi fornecida pela Klabin S.A. Também foram obtidos dados de ocorrência de incêndios florestais. Os dados de umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e de ocorrência de incêndios florestais se referem ao período compreendido entre 01/06/1998 e 31/05/2003, totalizando cinco anos de observação. O objetivo principal da pesquisa foi realizar um estudo comparativo do desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) no Distrito Florestal de Monte Alegre. O desempenho dos índices foi avaliado pelo método *skill score*. Foram considerados como não indicativos de probabilidade de ocorrência de incêndio as classes de perigo Nulo e Pequeno, e como indicativos de probabilidade de ocorrência as classes de perigo Médio, Alto e Muito Alto. A partir dessa definição, foram calculados os valores de *skill score* e porcentagens de sucesso dos índices. Os resultados indicaram um desajuste no FMA no período analisado, implicando um desempenho inferior ao desejado, enquanto que FMA⁺ apresentou desempenho satisfatório, não necessitando de reajuste.

Palavras-chave: Índice de perigo de incêndios; incêndios florestais; FMA; FMA⁺.

Abstract

Performance of the Monte Alegre Formula (FMA) and Modified Monte Alegre Formula (FMA⁺) in the Monte Alegre Forest District. This research was developed in the Monte Alegre Forest District, located in Telêmaco Borba county, Paraná State, Brazil. The meteorological data used in the study was supplied by Klabin S.A., a major Brazilian forest company. Data on forest fire occurrences were collected from June 1998 to May 2003, totaling 5 years of observation. The main objective of is research was to compare the performance of Monte Alegre Formula (FMA) and Modified Monte Alegre Formula (FMA⁺) in the fire danger prediction in the Monte Alegre Forest District. The performance of the indices were evaluated through the skill score method, based on a contingency table composed by the observed and the predict values for an event in a determined period of time. Null and Low fire danger classes were considered as indicative of no fire occurrence, whereas Medium, High, and Very High classes were considered as indicative of fire occurrence. Based on these premises the skill score and the success percentages of the indices were calculated. Results indicated a lower performance of the FMA compared to the FMA⁺ in the analyzed period.

Keywords: Fire danger index; forest fires; FMA; FMA⁺.

INTRODUÇÃO

No estado do Paraná, são observadas anualmente várias ocorrências de incêndio em áreas de florestas comerciais, de campos nativos e em unidades de conservação estaduais e federais, o que é extremamente preocupante, pelos danos econômicos e ambientais causados à flora, à fauna e ao solo.

O Distrito Florestal de Monte Alegre, onde se localiza a Fazenda Monte Alegre, com cerca de

145.000 ha, de propriedade da empresa Klabin S.A., é a maior área contínua de florestas plantadas do Brasil. As primeiras plantações da Fazenda Monte Alegre foram estabelecidas em 1943.

A Klabin foi a empresa florestal que mais prejuízos sofreu com o incêndio de 1963, pois quase toda a área reflorestada até então foi consumida pelo fogo. Pode-se dizer que a história dos incêndios florestais no Brasil começou com o incêndio de 1963, um dos mais destrutivos já registrados no mundo, que atingiu cerca de 2 milhões de hectares, sendo que 500.000 ha eram de florestas primárias, 8.000 imóveis foram destruídos, 5.700 famílias desabrigadas e 110 pessoas morreram no estado do Paraná, nenhuma delas na Fazenda Monte Alegre.

Devido aos prejuízos sofridos com os incêndios florestais, a Klabin S.A., a partir de 1965, começou a estabelecer um sistema de proteção contra os incêndios que vem sendo constantemente aprimorado.

A empresa possui o mais antigo e consistente banco de dados sobre ocorrências de incêndios florestais no Brasil, iniciado em 1965. Com isso, ela tem fornecido informações valiosas para o desenvolvimento de pesquisas sobre controle de incêndios florestais no país. A Fórmula de Monte Alegre (FMA) (SOARES, 1972), por exemplo, índice de perigo de incêndios utilizado por empresas e instituições florestais em várias regiões do Brasil, em outros países da América do Sul e em Moçambique, foi desenvolvida a partir de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios na Fazenda Monte Alegre. Mais recentemente, também utilizaram-se dados da Klabin S.A. para o desenvolvimento da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺).

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, consequentemente, dos prejuízos financeiros e ambientais advindos da ocorrência de eventos catastróficos.

Os índices de perigo de incêndio permitem também o estabelecimento de zonas de risco, possibilitando um melhor planejamento das atividades de prevenção contra incêndios florestais, 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 (SOARES; BATISTA, 2007; LOWE, 2001).

A importância deste trabalho está diretamente ligada às características do Distrito Florestal de Monte Alegre, cujo território é ocupado em boa parte pelo setor florestal e cujo clima oferece condições de ocorrência de incêndios florestais, assim como aos prejuízos econômicos que podem ser evitados com a prevenção de eventos dessa natureza.

O objetivo deste trabalho foi a realização de um estudo comparativo do desempenho das Fórmulas de Monte Alegre (FMA) (SOARES, 1972) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) (NUNES, 2005; NUNES, 2007; NUNES *et al.*, 2007) de 01/06/1998 a 31/05/2003 no Distrito Florestal de Monte Alegre, município de Telêmaco Borba, região central do estado do Paraná, onde se localiza a Fazenda Monte Alegre, de propriedade da empresa Klabin S.A.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados do Distrito Florestal de Monte Alegre, fornecidos pela Klabin S.A., localizado no 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, com ocorrência de geadas, e a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. A precipitação média anual é 1.490 mm, com excedente hídrico de 557 mm/ano, distribuído em todos os meses do ano.

Processo metodológico

A base de dados climatológicos usados neste trabalho foi fornecida pela Companhia Klabin do Paraná. Foram utilizados dados diários de umidade relativa e velocidade do vento das 13:00 h e precipitação diária para o período compreendido entre 01/06/1998 e 31/05/2003, totalizando 5 anos de observação.

Para realizar os ajustes na Fórmula de Monte Alegre Alterada, foram obtidas informações sobre ocorrências de incêndios, tais como a data de ocorrência, a hora de início e de término e a área queimada, para o período compreendido entre 01/06/1998 e 31/05/2003.

Análise do desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺)

Os dados foram submetidos a programas computacionais desenvolvidos na linguagem Pascal, com o fim de se determinar os graus de perigo diários obtidos pela Fórmula de Monte Alegre (FMA) e pela Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺).

Foram quantificados e analisados o número de dias previstos para cada classe de perigo e os percentuais que eles representam em cada classe de grau de perigo, para a Fórmula de Monte Alegre (FMA) e para a Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺).

As ocorrências de incêndios e as áreas queimadas nas regiões estudadas 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 perigo da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺).

O número de dias previstos em cada classe de perigo deve ter uma relação inversa com a classe de perigo, de tal maneira que, quanto maior a classe de perigo, menor o número de dias previstos para ela. As variáveis *número de incêndios ocorridos*, *área queimada* e *área queimada média em cada classe de perigo* devem apresentar uma relação direta com a classe de perigo, de tal maneira que, quanto maior a classe de perigo, maiores os valores observados para essas variáveis. Esses são critérios desejáveis para o comportamento dessas variáveis.

Para analisar o desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺), foi utilizado o método conhecido como *skill score*, que se baseia em uma tabela de contingência que contém os valores observados e os valores previstos para um evento em uma população ou determinado período de tempo. 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
	Não incêndio	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	a / (a + c)	b / (b + d)	1
	c / (a + c)	d / (b + d)	1
Total Observado	1	1	

As variáveis necessárias para a realização dos cálculos são:

N: Número total de observações.

$$N = a + b + c + d.$$

G: Número de acertos na previsão.

$$G = a + d.$$

H: Número esperado de acertos.

$$H = N \cdot (1 - p) \cdot (1 - q) + N \cdot p \cdot q$$

Onde: $p = N1 / N$ e $q = N2 / N$

SS: *skill score*

$$SS = (G - H) / (N - H)$$

PS: Porcentagem de sucesso

$$PS = G / N$$

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. O método *skill score* é descrito de forma mais detalhada em Sampaio (1999).

Para analisar o desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺), foi definido o ponto que indica a ocorrência e a não ocorrência de incêndio. Essa decisão foi tomada com base na escala de perigo de ambas as fórmulas. Foram considerados 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. A partir dessa definição, foram calculados o *skill score* e as porcentagens de sucesso para os dois índices considerados neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Número de dias previstos em cada classe de perigo

Foi analisado o número de dias previstos em cada classe de perigo para FMA e FMA⁺. Na tabela 3 pode se verificar os valores obtidos pelos modelos. Verificou-se que os dois índices apresentaram distribuições distintas em relação ao número de dias previstos e aos valores percentuais de número de dias previstos em cada classe de perigo.

A distribuição observada para FMA é uma condição não desejável para o comportamento do número de dias previstos, por não seguir uma tendência decrescente, da classe Nulo para Muito Alto, esperada para o comportamento dessa variável, indicando que FMA encontra-se desajustada para a região. A distribuição decrescente observada para FMA⁺ é uma condição desejável para o comportamento do número de dias previstos, de acordo com as premissas estabelecidas para essa variável, indicando que FMA⁺ encontra-se ajustada para a região.

Tabela 3. Número de dias previstos em valores absolutos e percentuais em cada classe de perigo das escalas de FMA e FMA⁺.

Table 3. Number of days, in absolute values and percentages, on each fire danger level, for the FMA and the FMA⁺.

Classe de perigo	Dias previstos no período			
	FMA		FMA ⁺	
	nº	%	nº	%
Nulo	264	14,46	504	27,60
Pequeno	258	14,13	463	25,36
Médio	478	26,18	351	19,22
Alto	536	29,35	278	15,22
Muito Alto	290	15,88	230	12,60
Total	1826	100,00	1826	100,00

Ocorrência de incêndios florestais

Foram analisadas as ocorrências de incêndios florestais observadas em cada classe de perigo para o FMA e FMA⁺. Na tabela 4 observa-se os valores obtidos pelos dois índices para o número de incêndios registrados e os respectivos percentuais para cada classe de perigo. Verificou-se que os dois índices apresentaram distribuições distintas em relação à ocorrência de incêndios florestais e aos valores percentuais de ocorrência de incêndios florestais em cada grau de perigo.

A distribuição observada para FMA é uma condição não desejável para o comportamento da variável *ocorrência de incêndios florestais*, por não seguir uma tendência crescente, da classe Nulo para Muito Alto, indicando que FMA necessita ser reajustada para a região. A distribuição crescente observada para FMA⁺ é uma condição desejável para o comportamento da variável *ocorrência de incêndios florestais*, confirmando que FMA⁺ encontra-se ajustada para a região. Como se pode observar, a distribuição das ocorrências de incêndios por classe de perigo segue uma tendência crescente regular desejável, como mencionado anteriormente.

Áreas queimadas pelos incêndios florestais

Verificou-se que os dois índices apresentaram distribuições distintas em relação às áreas queimadas pelos incêndios florestais e aos valores percentuais de áreas queimadas pelos incêndios florestais em cada grau de perigo da FMA e FMA⁺ (Tabela 5).

Tabela 4. Incêndios registrados em valores absolutos e percentuais em cada classe de perigo das escalas de FMA e FMA⁺.

Table 4. Percentages and absolute values of recorded fires on each danger class, for the FMA and the FMA⁺.

Classe de perigo	Incêndios registrados no período			
	FMA		FMA ⁺	
	nº	%	nº	%
Nulo	8	4,55	9	5,11
Pequeno	3	1,70	20	11,36
Médio	22	12,50	22	12,51
Alto	53	30,11	42	23,86
Muito Alto	90	51,14	83	47,16
Total	176	100,00	176	100,00

A distribuição apresentada para FMA é uma condição não desejável para o comportamento da variável *áreas queimadas pelos incêndios florestais*, por não seguir uma tendência crescente, da classe Nulo para Muito Alto, o que indica que FMA necessita ser reajustada para a região. A distribuição crescente observada para FMA⁺ é uma condição desejável para o comportamento da variável *áreas queimadas pelos incêndios florestais*, confirmando que FMA⁺ encontra-se ajustada para a região.

Tabela 5. Área queimada em valores absolutos e percentuais em cada classe de perigo das escalas de FMA e FMA⁺.

Table 5. Burned areas, in hectares and percentages, on each danger class, for the FMA and the FMA⁺.

Classe de perigo	Área queimada no período			
	FMA		FMA ⁺	
	ha	%	ha	%
Nulo	0,49	0,30	0,25	0,15
Pequeno	0,15	0,09	5,34	3,22
Médio	16,35	9,86	18,89	11,39
Alto	34,97	21,08	42,16	25,42
Muito Alto	113,89	68,67	99,21	59,82
Total	165,85	100,00	165,85	100,00

Áreas queimadas médias por incêndios

Foram também analisadas as áreas queimadas médias por incêndio em cada classe de perigo para a região estudada.

Verificou-se que os dois índices apresentaram distribuições distintas em relação às áreas queimadas médias por incêndios florestais e aos valores percentuais de áreas queimadas médias por incêndios florestais em cada grau de perigo da FMA e FMA⁺ (Tabela 6).

Tabela 6. Área queimada média por incêndio em cada classe de perigo das escalas de FMA e FMA⁺.

Table 6. Average burned area on each fire danger class, for the FMA and the FMA⁺.

Classe de perigo	Área queimada por incêndio no período	
	FMA	FMA ⁺
	ha	ha
Nulo		
Pequeno	0,06	0,03
Médio	0,05	0,26
Alto	0,74	0,86
Muito Alto	0,66	1,00
TOTAL	1,27	1,20
	2,78	3,35

A distribuição observada para FMA é uma condição não desejável para o comportamento da variável *áreas queimadas médias por incêndios florestais*, por não seguir uma tendência crescente, da classe Nulo para Muito Alto, confirmando que FMA encontra-se desajustada para a região. A distribuição crescente observada para FMA^+ é uma condição desejável para o comportamento da variável *áreas queimadas médias por incêndios florestais*, confirmando que FMA^+ encontra-se ajustada para a região.

Desempenho dos índices

Com base nas escalas de perigo de FMA e FMA^+ , foi construída a tabela 7, com os valores previstos e os valores observados de incêndios. Considerou-se como não indicativo da probabilidade de ocorrência de incêndios as classes de perigo Nulo e Pequeno, e como indicativos da probabilidade de ocorrência de incêndio as classes de perigo Médio, Alto e Muito Alto.

Tabela 7. Número de dias em que os índices previram ocorrência e não ocorrência de incêndios e os respectivos dias com e sem incêndios para FMA e FMA^+ .

Table 7. Number of days where the indices had predicted occurrence and no occurrence of forest fires, and the respective days with and without forest fire occurrences, for the FMA and the FMA^+ .

Índice	Condição	Valores	
		Observados	Previstos
		Nº de dias	Nº de dias
FMA	Incêndio	165	1304
	Não incêndio	11	522
FMA^+	Incêndio	165	1323
	Não incêndio	11	503

A partir dos valores apresentados na tabela 7, foram calculados o *skill score* e as porcentagens de sucesso para cada modelo proposto, a partir das tabelas de contingência montadas para FMA e FMA^+ , apresentadas nas tabelas 8, 9, 10 e 11.

Tabela 8. Tabela de contingência para FMA.

Table 8. Contingency table for the FMA.

Evento	FMA – Tabela de contingência		Total previsto	
	Observado			
	Incêndio	Não incêndio		
Previsto	Incêndio	165	1.469	
	Não incêndio	11	533	
Total observado		176	2.002	
		1.826		

Tabela 9. Cálculos da tabela de contingência para FMA.

Table 9. Contingency table calculations for the FMA.

Evento	FMA – Cálculos		Total previsto	
	Observado			
	Incêndio	Não incêndio		
Previsto	Incêndio	0,9375	1,6516	
	Não incêndio	0,0625	0,3484	
Total observado		1	2	
		1		

A tabela 12 apresenta os valores obtidos para *skill score* e porcentagem de sucesso para FMA e FMA^+ . Pode-se observar que os valores obtidos por FMA^+ apresentaram melhores resultados do que os obtidos por FMA. Os valores obtidos para FMA e FMA^+ foram 0,0517 e 0,1165 para o *skill score*, e 34,32 e 55,64 para a porcentagem de sucesso, respectivamente.

Tabela 10. Tabela de contingência para FMA+.

Table 10. Contingency table calculations for the FMA⁺.

Evento	FMA ⁺ – Tabela de contingência		Total previsto	
	Observado			
	Incêndio	Não incêndio		
Previsto	Incêndio	165	1.488	
	Não incêndio	11	514	
Total observado		176	2.002	

Tabela 11. Cálculos da tabela de contingência para FMA⁺.Table 11. Contingency table calculations for the FMA⁺.

Evento	FMA ⁺ – Cálculos		Total previsto	
	Observado			
	Incêndio	Não incêndio		
Previsto	Incêndio	0,9375	0,7245	
	Não incêndio	0,0625	0,2755	
Total observado		1	2	

Tabela 12. Valores de *skill score* e porcentagem de sucesso para FMA e FMA⁺.Table 12. Skill score values and success percentage for the FMA and the FMA⁺.

Índice	Skill score	Porcentagem de sucesso
FMA	0,0517	34,32
FMA ⁺	0,1165	55,64

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, valores bem próximos aos obtidos neste trabalho. Para a Fórmula de Monte Alegre aferida, o mesmo autor obteve os valores de 0,0877 para o *skill score* e 46,26 para a porcentagem de sucesso para a região de Agudos, no estado de São Paulo. Observa-se que os valores de desempenho dos modelos FMA⁺ foram consideravelmente superiores aos obtidos por Sampaio (1999).

O desajuste observado em FMA é um fator que interfere em seu desempenho, sendo esse desajuste causado provavelmente pela mudança nos regimes de chuva e consequentemente de umidade relativa ao longo do tempo, observados por Nunes (2008). A utilização de um índice de perigo desajustado pode levar à tomada de decisões equivocadas em relação aos procedimentos de prevenção e combate aos incêndios florestais.

CONCLUSÕES

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

- FMA não obteve bom ajuste para o Distrito Florestal de Monte Alegre no período estudado.
- FMA não apresentou desempenho satisfatório para o Distrito Florestal de Monte Alegre no período estudado, necessitando ser ajustada para a região.
- FMA⁺ obteve bom ajuste para o Distrito Florestal de Monte Alegre no período estudado.
- FMA⁺ apresentou bom desempenho para o Distrito Florestal de Monte Alegre no período estudado.
- FMA⁺ apresentou desempenho superior a FMA para o período estudado, fato causado pelo desajuste observado na FMA.

REFERÊNCIAS

- LOWE, J. D. 2001. **Wildland firefighting practices**. Thomson Learning, 348 p.
- NUNES, J. R. S. **Desempenho da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e da Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA⁺) no Distrito Florestal de Monte Alegre, município de Telêmaco Borba, Paraná – Telêmaco Borba**, 2008. 70 p. (Pós-Doutorado Empresarial) – Klabin S.A.
- NUNES, J. R. S. **Sistema integrado de controle de incêndios florestais para o estado do Paraná**. Curitiba, 2007 110 p. (Pós-Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- NUNES, J. R. S. **FMA⁺ – um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil**. Curitiba, 2005 150 p. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- NUNES, J. R. S.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Ajuste da Fórmula de Monte Alegre Alterada – FMA⁺ para o estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 37, n. 1, p. 1-14, 2007.
- SAMPAIO, O. B. **Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos, SP**. Curitiba, 1999. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – 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). 1972.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: Ronaldo Viana Soares e Antonio Carlos Batista, 2007. v. 1. 264 p.
- TREWARTHA, G. T.; HORN, L. H. Köppen's classification of climates. In: **An Introduction to climate**. McGraw-Hill, New York, pp. 397-403. 1980.