Ajuste de la Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA$^+$) para evaluar el riesgo de incendios forestales en el Estado de Paraná, Brasil

José Renato Soares Nunes, Ronaldo Viana Soares, Antonio Carlos Batista[1]

Resumen

Esta investigación fue desarrollada a partir de datos meteorológicos diarios (humedad relativa y velocidad del viento a las 13:00 horas y precipitación) de 10 regiones del estado de Paraná, Brasil, representadas por las municipalidades de: Cambará, Campo Mourão, Cândido de Abreu, Cascavel, Guarapuava, Londrina, Palmas, Paranavaí, Pinhais y Telêmaco Borba. También fueron obtenidos datos de la ocurrencia de incendios forestales (fecha de la ocurrencia, hora del inicio y de término del fuego y área afectada) de 7 de las 10 regiones estudiadas: Cambará, Campo Mourão, Cândido de Abreu, Cascavel, Guarapuava, Londrina, Palmas, Pinhais y Telêmaco Borba. Los datos analizados si refieren a un período de cinco años, comprendido entre Junio de 1998 hasta Mayo de 2003. El objetivo principal de la investigación fue ajustar la Fórmula de Monte Alegre Modificada (FMA$^+$) para diferentes regiones del estado de Paraná, basado en el análisis de funcionamiento del índice utilizando el método *skill score* que utiliza una tabla de contingencia que contiene los valores observados y los valores previstos para un acontecimiento en un período de tiempo. Fueron considerados como non indicativos de probabilidad de la ocurrencia de incendios las clases de peligro Nulo y Pequeño; y como indicativos de probabilidad de la ocurrencia de incendios las clases de peligro Medio, Alto y Muy Alto. Fueron calculados los valores de *skill score* y porcentajes de suceso para cada región. Los resultados demostraron que tres escalas de peligro distintas se deben utilizar en el estado. La escala de peligro original debe ser utilizada en el área central del estado, representada por las regiones de Cândido de Abreu, Cascavel, Guarapuava y Telêmaco Borba. Una segunda escala de peligro debe ser utilizada en el área norteña, representada por las regiones de Cambará y Paranavaí y una tercera escala se debe utilizar en las áreas restantes del estado, representadas por las regiones de Campo Mourão, Londrina, Palmas y Pinhais.

INTRODUCIÓN

Anualmente son observadas varias ocurrencias de incendios forestales en el estado de Paraná, en áreas de reforestación, de campo nativo y unidades de conservación bajo administración estadual y federal, lo que hay preocupado los organismos responsables por la política ambiental del estado por perjuicios causados, tanto en el aspecto económico como en la biodiversidad, en la flora, en la fauna e al suelo. La falta de políticas de prevención y educación de la población contribuye para que el problema se agrave. De entre las medidas preventivas existentes, la utilización de un índice de peligro confiable es un factor fundamental para un planeamiento mas eficiente de las medidas de prevención y para la adopción de acciones rápidas y efectivas en las actividades de combate, visando la reducción de perdidas y

[1] Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil - zerenato@floresta.ufpr.br; rvsoares@ufpr.br; batistaufpr@ufpr.br

perjuicios financieros y ambientales decurrentes de los eventos catastróficos (Soares, 1984, Batista, 1990).
La Formula de Monte Alegre Modificada (FMA^+) (Nunes, 2005) incluye en su estructura la velocidad del viento lo que permite evaluar el potencial de propagación de un incendio (Schroeder e Buck, 1970, Heikkilä y otros, 1993), factor de grande importancia para la prevención y combate a los incendios que puedan ocurrir.
El objetivo de este trabajo fue ajustar la FMA^+ para el estado de Paraná estudiando su desempeño, lo que viabilizaría su utilización en todo el estado.

MATERIAL Y METODOS

Caracterización del Área de Estudio

Para el desenvolvimiento de este estudio fueran seleccionadas 10 regiones en el estado de Paraná (Figura 1).

Figura 1 – Distribución de las áreas de estudio en el estado de Paraná

Informaciones sobre el Clima

Las regiones de Cambará, Campo de Mourão, Cândido de Abreu, Cascavel, Londrina y de Paranavaí están en el tipo climático Cfa según clasificación de Köppen (Trewartha y Horn, 1980), caracterizado por poseer un clima subtropical mesotérmico húmedo, presentando los veranos calientes (temperatura media del mes más caliente superior a 22° C), inviernos con pequeñas heladas frecuentes (temperatura media del mes mas frío inferior a 18° C), sin estación seca definida. Las regiones de Guarapuava, Palmas y Pinhais están en el tipo climático Cfb, caracterizado por poseer un clima subtropical mesotérmico húmedo, presentando los veranos frescos (temperatura media del mes más caliente inferior a 22° C), inviernos con ocurrencias de las heladas severas y frecuentes (temperatura media del mes mas frío inferior a 18° C), no presentando estación seca. El clima de Telêmaco Borba, es una transición entre Cfa/Cfb templado húmedo subtropical, con la temperatura media del mes más frío inferior a 16ºC, ocurrencia de heladas, y la temperatura media del mes más caliente alrededor de 22ºC.

Obtención de los Datos Meteorológicos

Para cada región descrita fueron obtenidos datos diarios de la humedad relativa y viento a las 13:00 h y precipitación diaria, para el un período de 5 años, entre 01/06/1998 hasta 31/05/2003, totalizando 60 meses de observaciones.

Obtención de los Datos de Incendios Forestales para el estado de Paraná

Para realizar los ajustes en la Fórmula de Monte Alegre Modificada fueron usadas informaciones de la ocurrencias de incendios, como la fecha de ocurrencia, la hora del inicio y de termino del incendio y área afectada en 7 de las 10 regiones estudiadas. Los datos fueran cedidos por el Cuerpo de Bomberos del estado de

Paraná y Companhia Klabin do Paraná. Las ocurrencias de incendios y las áreas quemadas fueron analizadas en diversos períodos. La región de Cambará fue analizada para el período de 01/01/1999 hasta 31/12/2001. La región de Guarapuava fue analizada para el período de 01/06/1998 hasta 31/12/1999. Las regiones de Campo Mourão, Cascavel, Londrina y Pinhais fueron analizadas para el período de 01/06/1998 hasta 31/12/2001. La región de Telêmaco Borba fue analizada para el período de 01/06/1998 hasta 31/05/2003.

Ajustes en la Fórmula de Monte Alegre Modificada – FMA$^+$

Para realizar los ajustes en la FMA$^+$ fueron usados datos meteorológicos de humedad relativa, precipitación y velocidad del viento y los datos de ocurrencia de incendios como la hora del inicio y de término, el área afectada.
Fue establecido que el número de días previstos en cada clase de peligro debe tener una relación inversa con la clase de peligro. En relación a las variables de incendios ocurridos, área afectada y área afectada media en cada clase de peligro, procuro se establecer una relación directa, en tal manera cuanto más grande la clase de peligro, mayores los valores observados para estos variables.

Distribución diaria de los grados de peligro, de las ocurrencias de incendios y de las áreas afectadas

Fueran cuantificados y analizados el número de días para cada clase de peligro y de los porcentajes que los mismos representan en cada de peligro, para el período entendido entre 01/06/1998 hasta 31/05/2003, para todas las 10 regiones. También fueron cuantificados y analizados informaciones del número de incendios, el área afectada y el área afectada media en cada clase de peligro.

Desempeño de la Fórmula de Monte Alegre Modificada - FMA$^+$ por Región

Para analizar el funcionamiento de FMA$^+$ fue utilizado el método *skill score* (Sampaio, 1999; Nunes, 2005; Nunes y otros, 2005) que está basado en una tabla de contingencia que contenga los valores observados y los valores previstos para un acontecimiento en una población. Fueron consideradas como no indicativas de la probabilidad de la ocurrencia del fuego las clases de peligro nulo y pequeño. Como indicativos de la probabilidad de la ocurrencia del fuego fueron considerados las clases de peligro medio, alto y muy alto. A partir de esta definición fueran calculados los valores de *skill score* y porcentajes de suceso para cada región.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

A partir de las premisas de que el número de días previstos en cada clase de peligro debe tener una relación inversa con la clase de peligro y variables número de incendios, área quemada y área quemada media en cada clase de peligro deben tener una relación directa con la clase de peligro, fueran realizadas análisis con estos variables para verificar la eficiencia de la FMA$^+$ en cada región.

Número de Días Previstos en cada Clase de Peligro

El número de días previstos en cada clase de peligro usando FMA$^+$ en su configuración original, según lo definido para Nunes (2005), cuja escala de peligro se presenta en la Tabla 1. En la Figura 2 son observados los valores obtenidos.

Tabla 1 - Escala de peligro - FMA$^+$ original

Valor de FMA$^+$	Clase de Peligro
≤ 3,0	Nulo
3,1 a 8,0	Pequeño
8,1 a 14,0	Medio
14,1 a 24,0	Alto
> 24,0	Muy alto

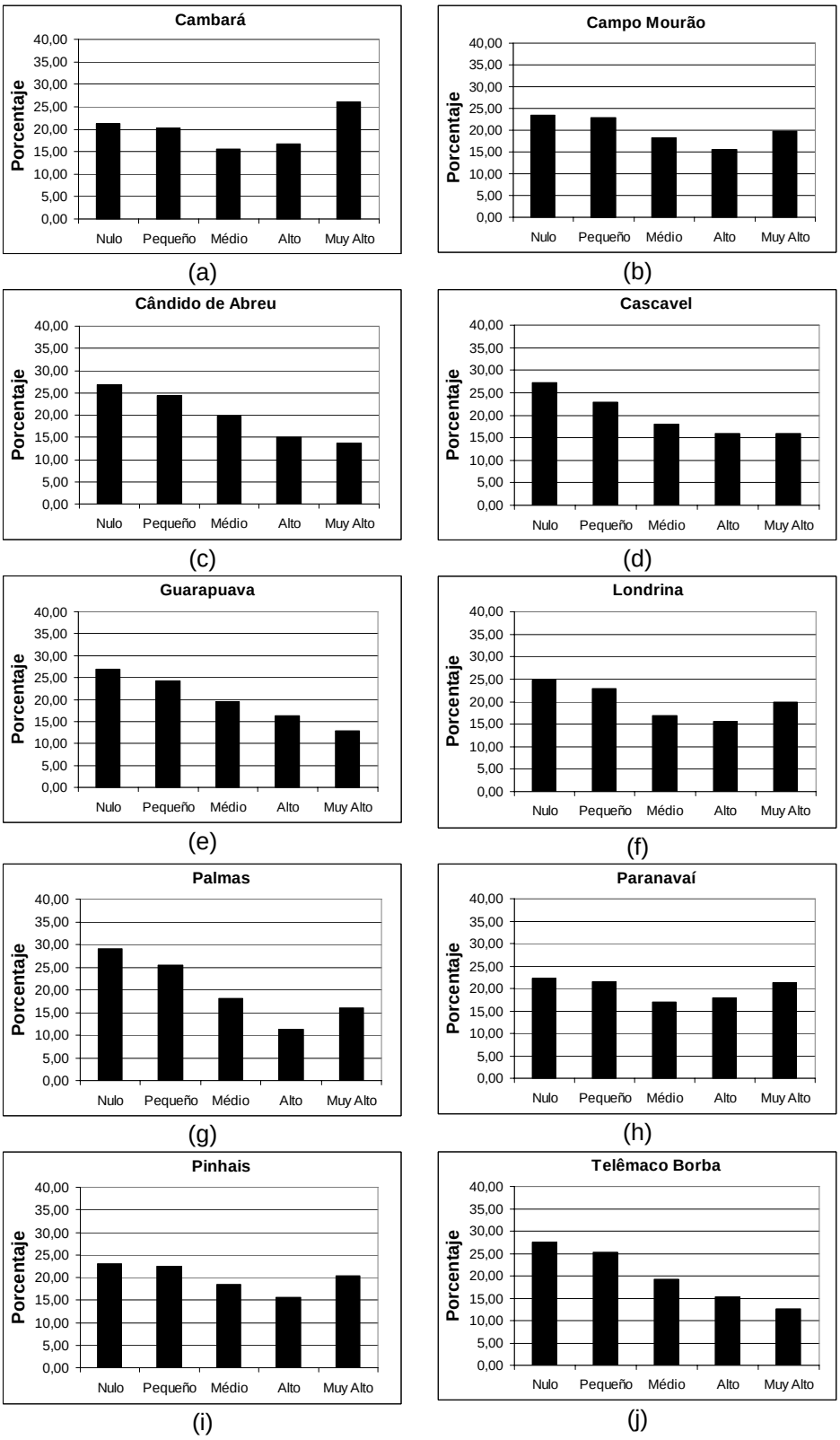


Figura 2 – Porcentaje de días previstos por clase de peligro - FMA^{+} original

Las regiones de Cândido de Abreu, Cascavel, Guarapuava y Telêmaco Borba presentaran resultados que indican buen funcionamiento del FMA^+ para las regiones, una vez que preserva la premisa de presentar relación inversa entre el número de días previstos y la clase de peligro, como presentado en las Figuras 2c, 2d, 2e y 2j. Las regiones de Cambará, Campo Mourão, Londrina, Palmas, Paranavaí y Pinhais no presentaran resultados satisfactorios (Figuras 2a, 2b, 2f, 2g, 2h y 2i), lo qué indica la necesidad de si ajustar el FMA^+ para estas regiones. La escala de peligro fue ajustada, como presentado en la Tabla 2. En la Figuras 3 son observados los valores obtenidos para la escala ajustada, llamada "ajuste 1".

Tabla 2 - Escala de peligro - FMA^+ Ajuste 1

Valor de FMA^+	Clase de Peligro
≤ 4,0	Nulo
4,1 a 9,0	Pequeño
9,1 a 16,0	Medio
16,1 a 30,0	Alto
> 30,0	Muy alto

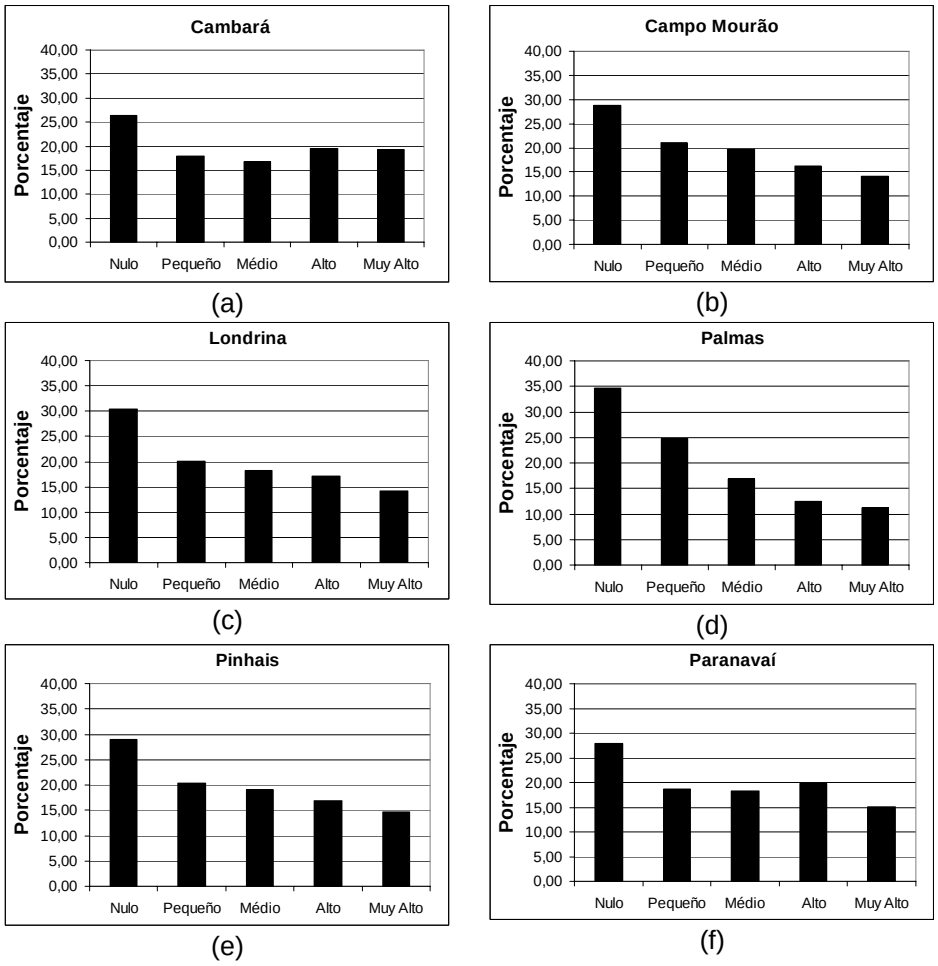


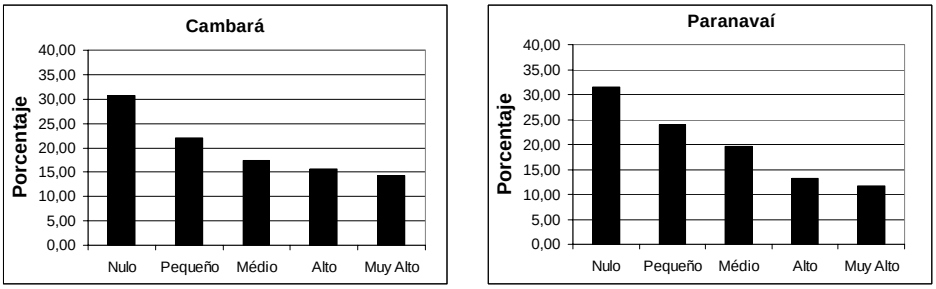
Figura 3 – Porcentaje de días previstos por clase de peligro - FMA^+ Ajuste1

Las regiones de Campo Mourão, Londrina, Palmas y Pinhais presentaran resultados indicando el buen funcionamiento del FMA^+, una vez que preserva la premisa de presentar relación inversa entre el número de días previstos y la clase de peligro, como presentado en las Figuras 3b, 3c, 3d y 3e. Las regiones de Cambará y Paranavaí no presentaran resultados satisfactorios, como demuestran las Figuras 3a

y 3f, qué indican la necesidad de se hacer un nuevo ajuste para estas regiones. La escala del peligro fue ajustada otra vez, como presentado en la Tabla 3. En la Figura 4 son observados los valores obtenidos para la escala de peligro ajustada, llamado "ajuste 2".

Tabla 3 - Escala de peligro - FMA^+ Ajuste 2

Valor de FMA^+	Clase de Peligro
≤ 5,0	Nulo
5,1 a 12,0	Pequeño
12,1 a 21,0	Medio
21,1 a 35,0	Alto
> 35,0	Muy alto



(a) (b)

Figura 4 – Porcentaje de días previstos por clase de peligro - FMA^+ Ajuste2

Las regiones de Cambará y Paranavaí presentaran resultado indicando buen funcionamiento del FMA^+ una vez que preserva la premisa de presentar relación inversa entre el número de días previstos y la clase de peligro, como presentado en las Figuras 4a y 4b.

Para las regiones que indican buen resultados del funcionamiento del FMA^+ que preserva la premisa de presentar relación inversa entre el número de días previstos y la clase de peligro, había sido conseguido valores alrededor de 30 % del número de días para la clase de peligro nulo y de 25 % para la clase de peligro pequeño.

Soares (1998b) haciendo comparación entre la Fórmula de Monte Alegre y el IPIR (índice de peligro del fuego de Rigesa) en la ciudad de Tres Barras en el estado de Santa Catarina, encontró la misma tendencia para el Fórmula de Monte Alegre, encontrando los porcentajes de 31.9 y 17.7% para las clase de peligro alto y muy alto, respectivamente. El mismo autor observó que 67.8% del número de días quedaran en la clase de peligro de Nulo/Bajo.

Número de Incendios Registrados

Para las regiones de Cambará, Campo Mourão, Cascavel, Guarapuava, Londrina, Pinhais y Telêmaco Borba, fue analizado el comportamiento de los incendios observados en cada clase de peligro considerando los ajustes necesarios en cada región. En la Figuras 5 son observados los porcentajes para el número de incendios registrados para cada clase de peligro.

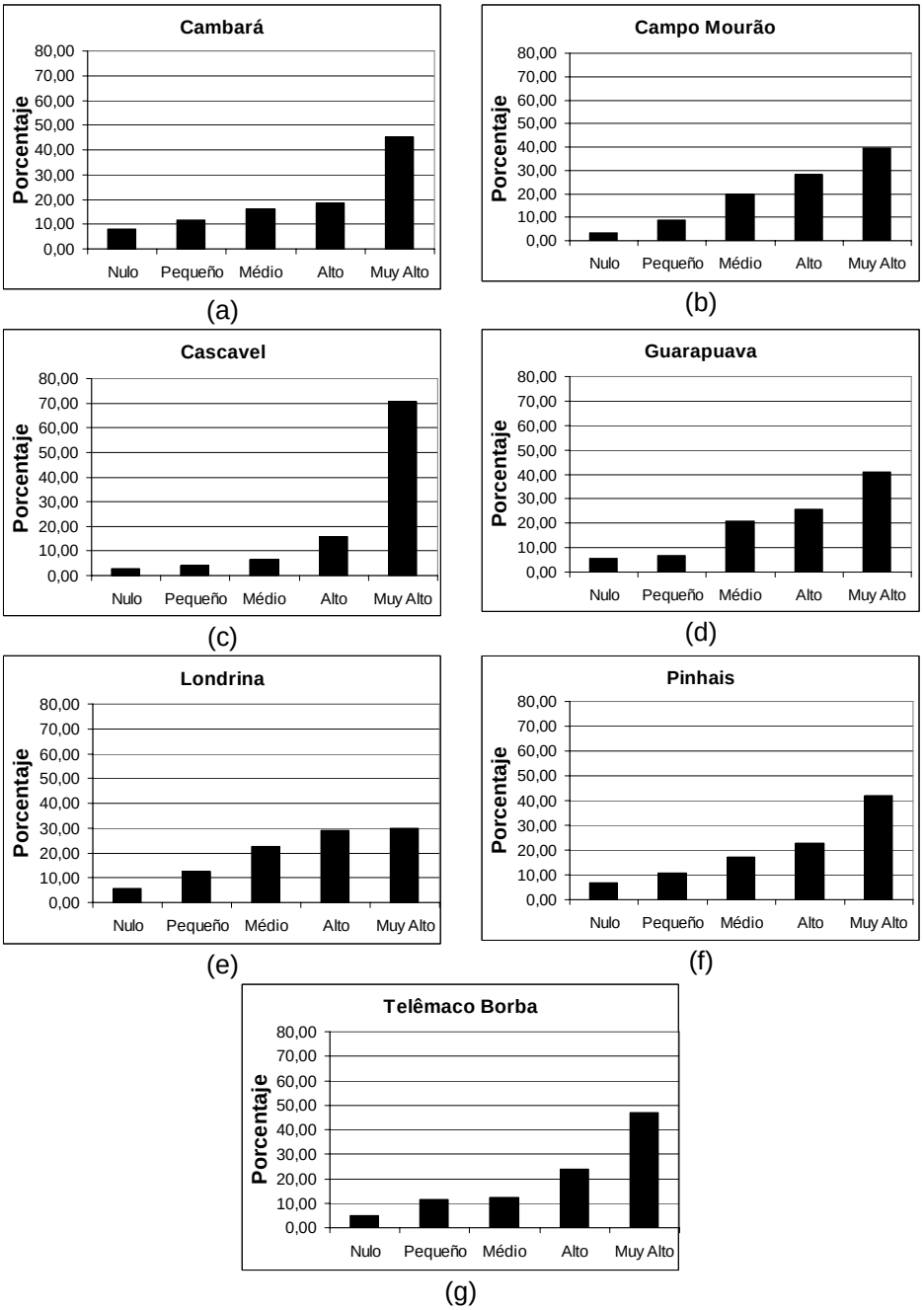


Figura 5 - Porcentaje de incendios registrados por clase de peligro - FMA$^+$ ajustada

Se observa que todas las regiones presentaran resultados que indican buen funcionamiento de FMA$^+$, una vez que preservan la premisa de presentar relación directa entre el número de incendios y la clase de peligro, como presentado en la Figura 5. Soares (1998a) analizó la distribución de la ocurrencia de incendios en el Distrito Forestal de Monte Alegre y observó que en el período de 1965 hasta 1971, los porcentajes tenían entre 27.5 y 50.7% para las clases de peligro IV y V. En el período de 1971 hasta 1990, los porcentajes fueran 31.7 y 52.55, respectivamente. Soares (1998b), analizando datos del norte del estado de Santa Catarina, observó que mientras 87% de los incendios habían ocurrido en los días donde la Fórmula de Monte Alegre indicó grado de peligro muy alto, no se observó ninguna ocurrencia por el IPIR. De acuerdo con el IPIR, la mayoría de los incendios (45.8%) había ocurrido

cuando las condiciones de peligro indicadas por el índice eran moderadas, subestimando el grado de peligro.

Áreas afectadas por incendios forestales

Para las regiones de Cambará, Campo Mourão, Cascavel, Guarapuava, Londrina, Pinhais y Telêmaco Borba, fue analizado el comportamiento de las áreas afectadas por incendios observados en cada clase de peligro, considerando los ajustes necesarios en cada región. En la Figura 6 son observadas las porcentajes de áreas afectadas por los incendios forestales para cada de clase de peligro.

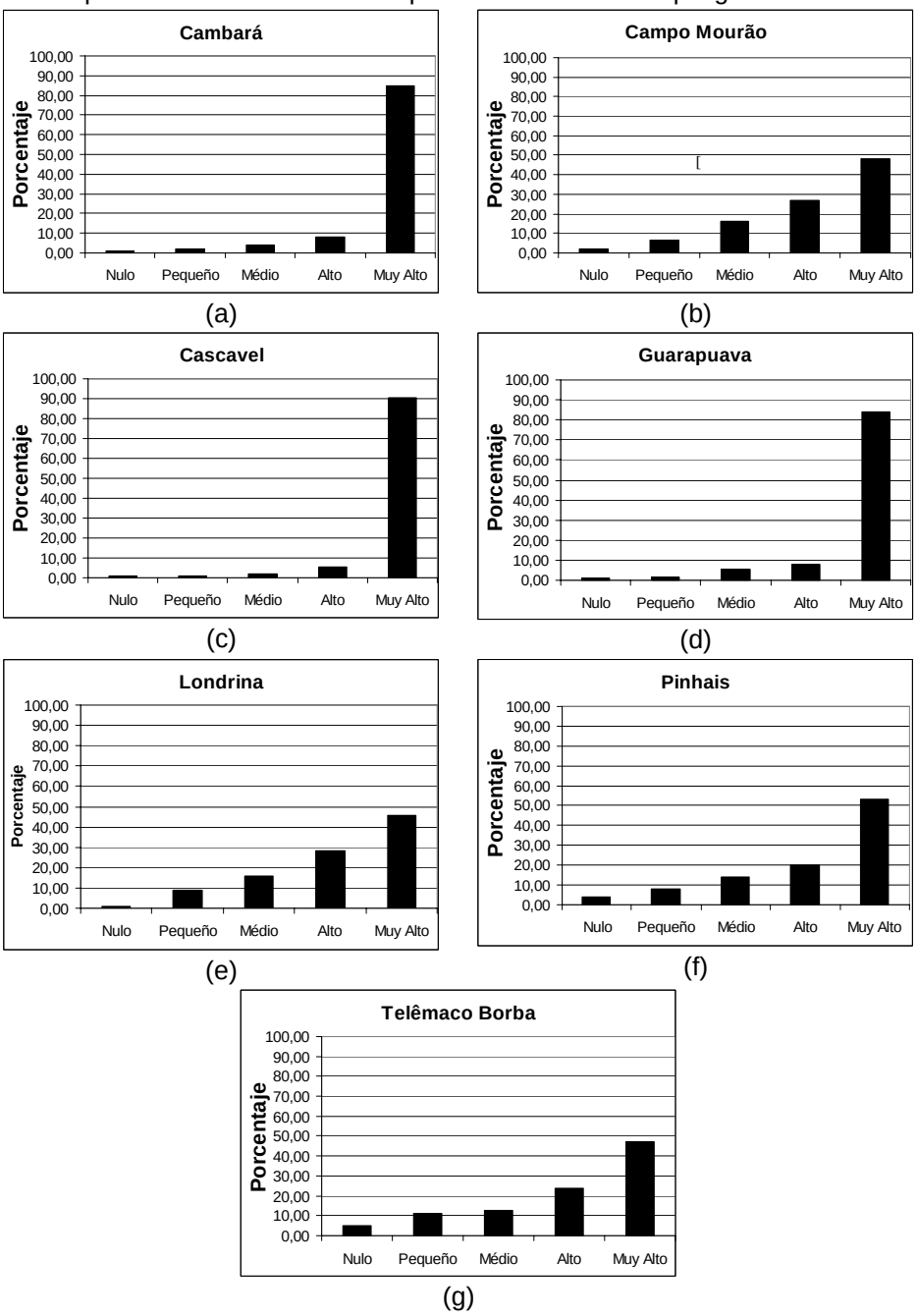


Figura 6 – Porcentaje da área afectada por clase de peligro - FMA$^+$ ajustada

Se observa que todas las regiones presentaran resultados que indican buen funcionamiento de la FMA$^+$, una vez que preserva la premisa de presentar relación

directa entre el área afectada por incendios y la clase de peligro, como presentado en la Figura 6. Soares (1998a) analizo la distribución de las áreas afectadas por clase de peligro comparando el índice de peligro de incendios de Rigesa (IPIR) y la Fórmula de Monte Alegre y observó que 99.2% del área afectada ocurrieron en la clase de peligro V para la FMA y que el IPIR presentó los porcentajes de 46.5, 15.1 y 38.4% en clases II, III y IV respectivamente.

Áreas afectadas medias por incendios

Fue analizado el comportamiento de las áreas afectadas medias por incendios forestales observados en cada clase de peligro para todas las regiones estudiadas, considerando los ajustes necesarios en cada región. En la Figura 7 si observan las áreas afectadas medias por incendios para cada clase de peligro.

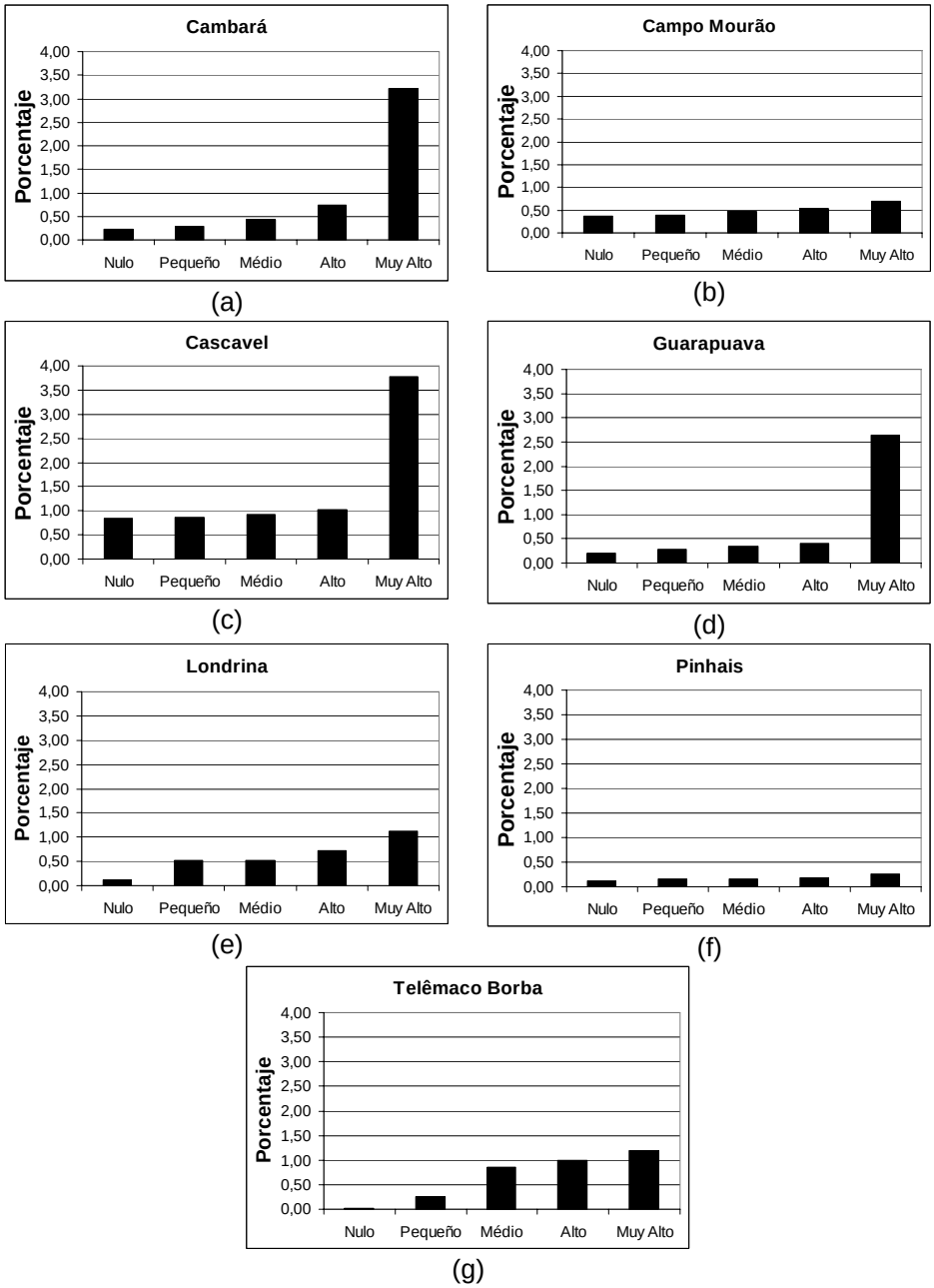


Figura 7 – Área afectada media por clase de peligro - FMA^{+} ajustada

Se observa que todas las regiones presentaran resultados que indican buen funcionamiento del FMA$^+$ para la región, una vez que preserva la premisa de presentar la relación directa entra en el área afectada media por incendio y el grado de peligro, como muestra la Figura 7. Soares (1998a) encontró, en el norte del estado de Santa Catarina, para el período de enero de 1988 al septiembre de 1995 valores de área afectada media de 1,2 y 24.1 ha/incendio para las clases alto y muy alto, respectivamente. Los bajos valores de las áreas afectadas medias por incendios son deseables, segundo Soares (1998a) que encontró 24.1 ha/incendio para la región norte del estado de Santa Catarina para la Fórmula de Monte Alegre.

Análisis de desempeño

La tabla 4 y las Figuras 8 y 9 presentan los valores conseguidos para el *skill score* y porcentaje de suceso para las 7 regiones que poseyeron datos de ocurrencia de incendios forestales.

Tabla 4 – Desempeño de la FMA$^+$ para las regiones estudiadas

	Desempeño	
	Skill Score	**Porcentaje de Suceso**
Cambará	0,0884	54,48
Campo Mourão	0,3019	62,21
Cascavel	0,3340	63,27
Guarapuava	0,1330	49,27
Londrina	0,3384	66,67
Pinhais	0,2826	62,55
Telêmaco Borba	0,1165	55,64

Los valores de *skill score* variaran de 0.0884 para Cambará hasta 0.3384 para Londrina. Los valores de porcentaje de suceso variaran de 49.27 en Guarapuava hasta 66.67 en Londrina. Los valores de *skill score* para Pinhais (0.2826), Campo Mourão (0.3019), Cascavel (0.3340) y Londrina (0.3384) son muy superiores a los conseguidos por Nunes (2005), donde el *skill score* presentaba valor de 0.1165 para la región de Telêmaco Borba.

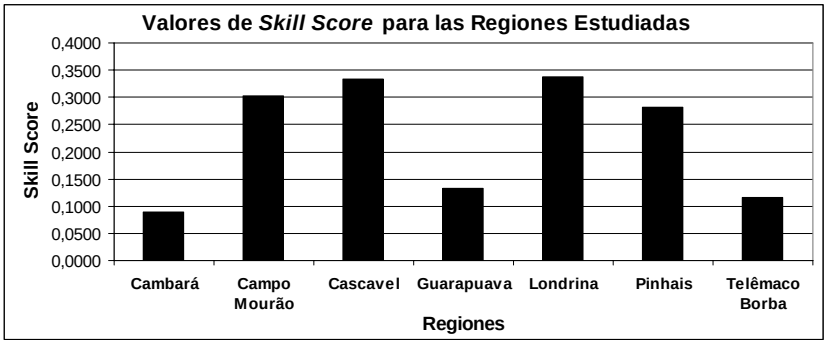


Figura 8 – Valores de *skill score* para las regiones estudiadas

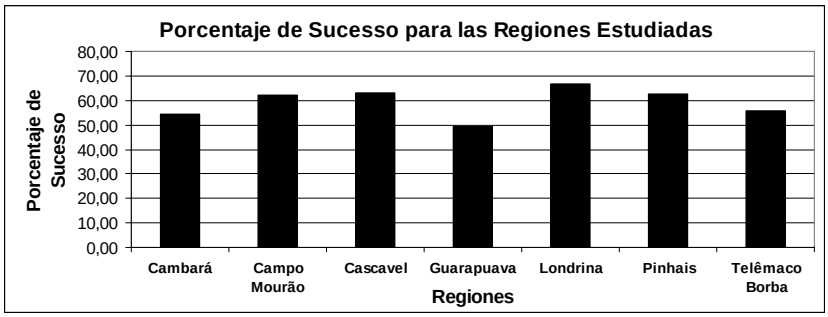


Figura 9 – Valores de porcentaje de suceso para las regiones estudiadas

Sampaio (1999) consiguió para la Fórmula de Monte Alegre los valores de 0.0607 para *skill score* y 36.92 para la porcentaje de suceso y para la Fórmula de Monte Alegre corregida los valores de 0.0877 para *skill score* y 46.26 para la porcentaje de suceso para la región de Agudos, estado de São Paulo. Viegas *et al*.(no publicado)[2], citado para Sampaio (1999) habían encontrado para las regiones del sur de la Europa, provincia de las Alps-de-Haut, valores de *skill score* de 0.28 para FWI, 0.24 para IREP, 0.25 para el índice español, 0.26 para HMIN, 0.24 para el índice portugués, 0.25 para PERS (persistencia de suceso de días con condiciones meteorológicas similares) y 0.34 para el SYN (índice sintético). Los valores encontrados para las regiones de Campo Mourão, Cascavel, Londrina y Pinhais sitúan se en los mismos niveles de los resultados conseguidos por Viegas.

Regionalización de la Fórmula de Monte Alegre Modificada

FMA$^+$ presentó tres escalas distintas de peligro para las 10 regiones estudiadas en el estado de Paraná. La Figura 10 presenta las regiones en las cuales se deben adoptar estas escalas.
La escala de peligro original, definida para Nunes (2005) se debe utilizar en el área central del estado (gris más claro), donde si encuentran las regiones de Cândido de Abreu, Cascavel, Guarapuava y Telêmaco Borba. La escala de peligro llamada "ajuste 2", se debe utilizar en la extremidad norte del estado (gris más oscuro), comprendiendo las regiones de Cambará y Paranavaí. Finalmente, la escala de peligro llamada "ajuste 1", se debe utilizar para el restante del estado, validado para las regiones de Campo Mourão, Londrina, Palmas y Pinhais.

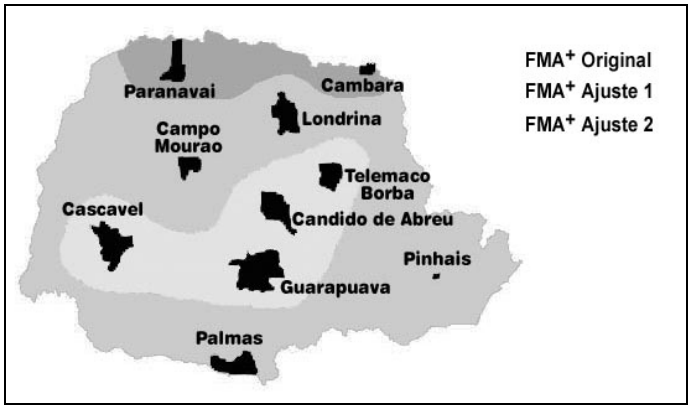


Figura 10 – Regiones con escalas de peligro semejantes

CONCLUSIONES

A partir de los resultados conseguidos concluye que el FMA$^+$ se pueda utilizar en el estado de Paraná, considerando las tres regiones definidas a partir de los ajustes realizados en las escalas de peligro.
Los resultados de los análisis de desempeño presentaran resultados significativos, permite su uso de forma segura en todo el estado de Paraná.
Sugiere se un acompañamiento de su funcionamiento en el largo del tiempo con el objetivo de se evaluar su eficiencia a un lugar más específico.

REFERENCIAS

Batista, A. C. 1990. **Incêndios florestais**. UFRPE, Recife, 115 p.

[2] Viegas, D. X.; Bovio, C.; Camia, A. Testing meteorological fire danger methods in Southern Europe. 38 p. (não publicado)

Heikkilä, T. V.; Gronovist, R.; Jurvélius, M. 1993. **Handbook on Forest Fire Control**. Forestry Training Programme Publication 21. Helsinki, 239 p.

Lowe, J. D. 2001. **Wildland Firefighting Practices**. Thomson Learning, 348 p.

Nunes, J. R. S. 2005. FMA$^+$ - Um Novo Índice de Perigo de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná – Brasil. Curitiba, 150p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

Nunes, J. R. S.; Soares, R. V.; Batista, A. C. 2005. FMA$^+$ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná. In: II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal, Blumenau - SC. 2005, **Anais do II Seminário de Atualidades em Proteção Florestal,** Blumenau. UFPR/FURB/FUPEF,. v. 1. p. 1-12.

Nunes, J. R. S., Soares, R. V.; Batista, A. C. 2006. FMA$^+$ - Um Novo Índice de Perigo de Incêndios Florestais para o Estado do Paraná – Brasil. **Revista Floresta**, v.36, n. 1.

Sampaio, O. B., 1999. Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP. Curitiba,. 157p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

Schroeder, M. J.; Buck, C. C. 1970. **Fire weather**. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360. 229 p.

Soares, R. V. 1972a. Índices de perigo de incêndio. **Revista Floresta**, v. 3, n. 3, p.19-40.

Soares, R. V. 1972b Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil. Turrialba, Costa Rica, CATIE/IICA,. 72 p. (Tese de Mestrado).

Soares, R. V. 1985**. Incêndios Florestais: controle e uso do fogo**. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 213 p.

Soares, R. V. 1984. **Prevenção e controle de incêndios florestais**. ABEAS, 120 p.

Soares, R. V. 1998a. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndios florestais.. **Cerne**,v. 04, n. 1, p.87-99.

Soares, R. V. 1998b. Comparação entre o Índice de Perigo de Incêndio da Rigesa e a “Fórmula de Monte Alegre” 10 p. (não publicado).

Trewartha, G. T.; Horn, L. H., 1980. **Köppen's classification of climates. In: An Introduction to climate**. McGraw-Hill, New York, pp. 397-403.

Viegas, D. X.; Sol., B.; Bovio, G.; Nosenzo, A.; Ferreira, A.D. 1994 Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. In: Proceedings of the *II International Conference On Forest Fire Research*, pp.571-590, Coimbra.