

Desempenho de Alguns Índices de Risco de Incêndios em Plantios de Eucalipto no Norte do Espírito Santo

Tiago Sperandio Borges¹, Nilton César Fiedler¹, Alexandre Rosa dos Santos¹, Edmilson Bitti Loureiro², Reginaldo Gonçalves Mafía²

¹Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

²Fibria Celulose

RESUMO

O monitoramento de risco é uma medida preventiva bastante utilizada nos programas de prevenção aos incêndios florestais. Este trabalho avaliou a eficiência de alguns índices encontrados na literatura (Nesterov (N), Monte Alegre (FMA) e Monte Alegre Alterado (FMA⁺)), baseado em dados meteorológicos e na ocorrência de incêndios florestais para o Norte do Espírito Santo. O índice FMA⁺ apresentou melhor desempenho em comparação aos demais índices, principalmente para os testes de *skill score* (0,16 a 0,20) e porcentagem de sucesso (51,5 a 56,5%). Este índice, calculado e disponibilizado *on line*, é uma medida que está contribuindo para um melhor planejamento e redução dos custos de combate aos incêndios florestais na região norte do Estado do Espírito Santo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, incêndios florestais, risco de incêndio.

Performance of Some Index of Risk of Fire in *Eucalyptus* Plantations in the North of the Espirito Santo, Brazil

ABSTRACT

The risk monitoring is a preventive measure widely used in the programs of prevention to forest fires. This work evaluated the efficiency of some index found in the literature (Nesterov (N), Monte Alegre (FMA) and Monte Alegre chanted (FMA⁺)), based on meteorological data and the occurrence of forest fires to the north of the Espirito Santo. FMA⁺ index showed better performance compared to other indexes, mainly for the skill test score (0.16 to 0.20) and percentage of success (51.5 to 56.5%). This index, calculated and made available online, is a measure that is contributing to a better planning and reduction of the cost of combat to forest fires in the region north of the state of the Espirito Santo.

Keywords: *Eucalyptus*, forest fire, fire risk.

1. INTRODUÇÃO

As áreas com plantios de eucalipto apresentam alto risco de ocorrência de incêndios. Além da disponibilidade de madeira, existe o depósito contínuo de folhas e galhos sobre a superfície do solo, provenientes dos plantios e da vegetação de

sub-bosque, o que permite a formação de uma manta orgânica que serve como material combustível em incêndios florestais. Em função disso, é fundamental dispor de técnicas eficientes de prevenção e de combate. As formas mais eficientes de prevenção

(zoneamento de riscos, educação ambiental) iniciam-se a partir do conhecimento sobre o risco, o que permite o correto planejamento e alocação de recursos para o combate aos incêndios florestais. Além de permitir um correto planejamento, a utilização de um índice de risco de incêndio confiável é fundamental para o mapeamento e estabelecimento de zonas de risco, definição do número e localização de torres de observação de incêndios e a advertência pública do grau de risco, o que é considerado fator importante nos programas de educação ambiental.

A partir disso, o primeiro passo é determinar o perigo de ocorrência de incêndios. Para isso, diferentes metodologias foram desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos e em diferentes países, por exemplo, índice de Telcyn e Nesterov (Tetto et al., 2010). Sendo assim, acredita-se que o ideal seja aproveitar estas experiências bem sucedidas, todavia com aprimoramento e adequação às condições nas diferentes regiões brasileiras (Deppe et al., 2004).

Os índices para previsão de incêndios florestais são ferramentas estatísticas utilizadas na avaliação da probabilidade de ocorrência de fogo, baseados nas condições atmosféricas do dia ou de uma série temporal (Soares & Batista, 2007). Existem vários índices de risco de incêndios, como por exemplo, os índices de Telcyn, Angstrom, Nesterov e a Fórmula de Monte Alegre, que são classificados de acordo com Sant'anna et al. (2007) como índices de ocorrência, e outros, como a Fórmula de Monte Alegre Alterada, "Canadian Forest Fire Weather Index" e "The National Fire Danger Rating System", que são classificados como índices de propagação (Tetto et al., 2010).

A utilização desses índices citados anteriormente, entre outros na literatura, é fundamental no planejamento eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate, visando reduzir perdas e, conseqüentemente, os prejuízos financeiros, sociais e ambientais advindos da ocorrência desses incêndios.

Atualmente, as técnicas de combate direto e indireto a incêndios florestais, mesmo com seus elevados custos, têm alcançado grandes avanços, mas as técnicas de prevenção não apresentaram o mesmo ritmo de evolução (Nunes, 2005). Devido a isso, o

trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de três índices de risco para áreas de florestas plantadas (eucalipto) no norte do Estado do Espírito Santo e, por fim, otimizar as atividades de planejamento e aumentar a eficiência do sistema de combate aos incêndios florestais nesta região através da escolha de um ou mais índice de risco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde aos plantios de eucalipto estabelecidos na região dos municípios de São Mateus e Conceição da Barra na mesorregião Litoral Norte do Estado do Espírito Santo, em áreas privadas da empresa Fibria Celulose S.A. O local tem coordenadas geográficas entre 18° 35' 34" S and 39° 43' 55" O a 18° 43' 15" S and 39° 51' 41" O. Predominam as planícies com altitudes entre 3 e 36 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical Aw (megatérmico), característico do litoral norte do Estado. A região apresenta temperatura média anual em torno dos 24 °C, variando entre 25 e 30 °C, no verão, e de 19 a 21 °C, no inverno (Tatagiba et al., 2007). Segundo São Mateus (2011), a precipitação média anual é de 1432,8 mm, concentrando-se fortemente entre os meses de outubro a abril (em torno de 75%). A umidade relativa do ar varia entre 70 e 90%, no verão, e de 30 a 60%, no inverno. A região possui ventos moderados, com direção predominante nordeste com velocidade variando entre 0,1 e 0,8 m/s.

2.2. Dados meteorológicos

Foram disponibilizados pela empresa os dados meteorológicos, esta que, por sua vez, possui uma rede de estações automáticas em suas áreas de plantio e de preservação ambiental. Foram utilizados os dados diários de temperatura (T, °C), umidade relativa (UR, %) e velocidade do vento (U, m/s) às 13 horas, além da precipitação diária (ppt, mm/dia), para um período entre 01/01/2003 e 31/12/2006 (quatro anos). Os dados foram obtidos de cinco estações meteorológicas, localizadas em Conceição da Barra (Identificadas como: SM 302, SM 304 e

SM 306) e São Mateus (Identificadas como: SM 303 e SM 307).

2.3. Dados históricos de incêndios florestais

Para realização das análises de desempenho dos índices, foram obtidas do banco de dados da Empresa proprietária da área informações sobre as datas das ocorrências de incêndios florestais nas áreas de abrangência das estações durante o período avaliado. Todas as ocorrências foram analisadas ao longo do mesmo período para todas as estações meteorológicas da regional, totalizando 1461 dias de observação.

2.4. Índices de risco de incêndios florestais

Os índices de risco utilizados foram calculados e considerados de forma acumulativa, em virtude de proporcionar resultados mais confiáveis para as características de vegetação e clima (Sant'anna et al., 2007; Soares & Batista, 2007). Foram utilizados os Índices de Nesterov (N), Fórmula de Monte Alegre (FMA) e Fórmula de Monte Alegre alterada (FMA+) (Soares 1972; Nunes, 2005).

2.5. Avaliação do desempenho dos índices de risco de incêndios florestais

Para analisar o comportamento de cada índice e definir o de melhor desempenho para a região,

utilizou-se das seguintes ferramentas estatísticas: o método *skill score* (SS) e a análise da percentagem de sucesso (PS) (Sampaio, 1999; Nunes, 2005; Nunes et al., 2006). O método SS tem como base o uso de tabelas de contingência, que registram e analisam o padrão de relacionamento entre duas ou mais variáveis e contêm os valores observados e os previstos para um mesmo evento. Basicamente, este método é a razão da diferença entre os acertos na previsão e o número esperado de acertos e a diferença entre o número de dias observados e o número de dias com previsão de acertos. As Tabelas 1 e 2 mostram os cálculos para se obter o valor do SS e de PS.

As equações necessárias para a realização dos cálculos foram (Equações 1, 2, 3, 4 e 5):

$$N_t = a + b + c + d \tag{1}$$

Em que: N_t – Número total de observações; a_{oi} – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas; b_{oi} – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas; c_{oi} – número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas; e d_{oi} – número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas.

$$G_a = a + d \tag{2}$$

Em que: G_a – Número de acertos na previsão

Tabela 1. Tabela de contingência.

Table 1. Contingency table.

Evento	Incêndios		Total previsto	
	Observados	Não observados		
Incêndio	Previsto	A	b	$N_2 = a+b$
	Não previsto	C	d	$N_4 = c+d$
Total observado	-	$N_1 = a+c$	$N_3 = b+d$	$N = a+b+c+d$

Fonte: Adaptado de Sampaio (1999).

Tabela 2. Análise da tabela de contingência.

Table 2. Contingency table analysis.

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

Fonte: Adaptado de Sampaio (1999).

$$H_a = N*(1 - p)*(1 - q) + N*p*q \quad (3)$$

Em que: H_a – Número esperado de acertos

$$p = N_1 / N_t \text{ e } q = N_2 / N_t \quad (4)$$

Em que: N_1 – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas + número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas; N_2 – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas + número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas; N_3 – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas + número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas; N_4 – número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas + número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e não observadas; p – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas + número de dias com ocorrências de incêndios não previstas e observadas, dividido pelo número total de observações; q – número de dias com ocorrências de incêndios previstas e observadas + número de dias com ocorrências de incêndios previstas e não observadas, dividido pelo número total de observações.

$$SS = (G_a - H_a) / (N_t - H_a)$$

$$SS - \textit{skill score} \quad (5)$$

$$PS = (G_a / N_t) * 100$$

PS – Porcentagem de sucesso

Para avaliação de desempenho, os três índices foram quantificados para o mesmo conjunto de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios, considerando o período estudado de 1461 dias. Os graus de perigo nulo e pequeno para os índices FMA e FMA⁺ e os graus de nenhum risco e risco pequeno para o índice de Nesterov foram considerados como não indicativos de probabilidade de ocorrência de incêndios. Em contrapartida, os graus de perigo médio, alto e muito alto para os índices FMA e FMA⁺, e os graus de risco médio, grande risco e altíssimo risco para o índice de Nesterov foram considerados como indicativos da probabilidade de ocorrência de incêndios, de acordo com a metodologia adotada por Nunes (2005). Nela, para que os resultados de um determinado índice sejam satisfatórios, é importante

que o número de dias previstos em cada classe de risco tenha uma relação inversa com a classe de risco, de maneira que, quanto maior a classe, menor o número de dias previstos. Com base nessas considerações foram calculados o SS e o PS para cada índice estudado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi determinado o número de dias previstos em cada classe de grau de risco de incêndio, para os índices estudados.

O índice FMA apresentou uma tendência em concentrar o percentual de número de dias nas classes de risco mais altas, com um valor médio de 56,62%, quando consideradas as classes de risco alto (31,90%) e muito alto (24,72%).

Soares (1998), fazendo comparação entre a FMA e o ICS (“Index de Carolina do Sul” - índice de risco de incêndio adotado pelo Departamento Florestal do Estado da Carolina do Sul, EUA), encontrou a mesma tendência de maior concentração do número de dias previstos nas classes de risco alto e muito alto para a FMA aplicada na região da Carolina do Sul, tendo encontrado os percentuais de 33,3 e 17,7%, respectivamente.

Observou-se também que existe uma tendência do índice de risco FMA⁺ concentrar o percentual do número de dias nas classes de risco mais altas, provavelmente em função da velocidade do vento. No entanto, essa tendência foi menor do que nos resultados da FMA, obtendo o valor médio de 42,25%, considerando os valores das classes de risco alto (19,18%) e muito alto (23,07%). Por outro lado, o percentual do número de dias nas classes de risco nulo e pequeno obteve valores médios de 40,16%, mostrando um possível equilíbrio entre essas classes.

Nunes et al. (2006), em seus estudos com a FMA⁺ aplicado no Estado do Paraná, obtiveram resultados que indicaram a necessidade de se ajustar a FMA para regiões específicas. Em 60% das regiões avaliadas durante o estudo, o índice de risco necessitou de ajuste. Segundo os autores, os resultados foram satisfatórios, quando atenderam a condição do percentual do número de dias previstos por classe de risco ter uma relação inversa com a classe de risco, de

modo que, quanto maior a classe de risco, menor o número de dias previstos.

O índice de Nesterov apresentou maior tendência, quando comparado aos índices FMA e FMA⁺, em concentrar maior número de dias previstos nas classes de grande e de altíssimo risco, com valores médios de 39,43 e 23,48%, respectivamente, totalizando 62,91%, provavelmente em função das características climáticas regionais. Além disso, pode-se observar que o risco de incêndio pequeno apresentou o valor médio de 5,64% como o menor percentual entre todas as análises.

Para análise do desempenho de cada um dos índices, foi quantificado o número de dias no período em que foram registradas as ocorrências de incêndios florestais pela empresa proprietária da área, de acordo com a classe de risco, e os respectivos percentuais para cada classe.

Para a FMA, verificou-se uma tendência do maior número de dias com registro de incêndios se concentrarem nas classes de risco alto e muito alto, sendo que os valores médios obtidos foram de 37,29 e 43,96%, respectivamente, totalizando 81,25% (Figura 1). Do ponto de vista de eficiência do índice, essa tendência crescente reflete o bom ajuste do índice, proporcionado pela distribuição da concentração de dias com previsão de incêndio nas classes de risco mais perigosas.

Verificou-se também uma tendência de maior número de dias com registro de incêndios se concentrarem nas classes de risco alto e muito alto para FMA⁺, obtendo valores médios de 25,08 e 42,11%, respectivamente, (Figura 2) totalizando 67,19%. Porém, essa tendência crescente ocorreu de uma forma mais balanceada, quando comparada aos resultados da FMA, com as maiores concentrações nas classes de risco alto e muito alto, provavelmente em função do uso da variável velocidade do vento. Apenas para a estação meteorológica SM303 os resultados foram mais acentuados para a classe de risco muito alto, com o percentual de 52,15% do número de dias no período com registro de incêndio.

Para o índice de Nesterov (N), observou-se uma tendência desbalanceada, com os valores concentrados nas classes de risco alto e muito alto, com percentuais equivalentes a 45,81 e 43,10%, respectivamente, totalizando 88,91% (Figura 3).

Soares (1998), analisando a distribuição das ocorrências de incêndios no Distrito Florestal de Monte Alegre(PR), observou que, no período de

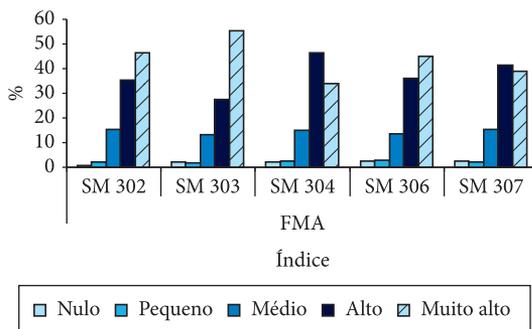


Figura 1. Ocorrência de incêndio florestal, em porcentagem, de acordo com FMA.
Figure 1. Forest fire occurrence, in percentage, according to FMA index.

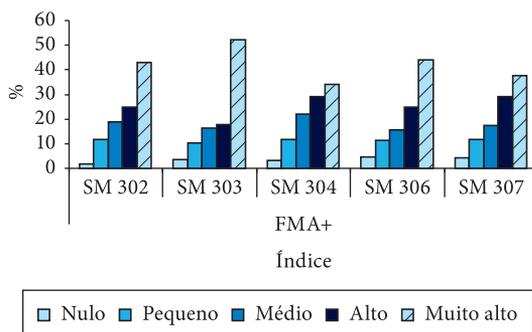


Figura 2. Ocorrência de incêndio florestal, em porcentagem, de acordo com FMA⁺.
Figure 2. Forest fire occurrence, in percentage, according to FMA⁺ index.

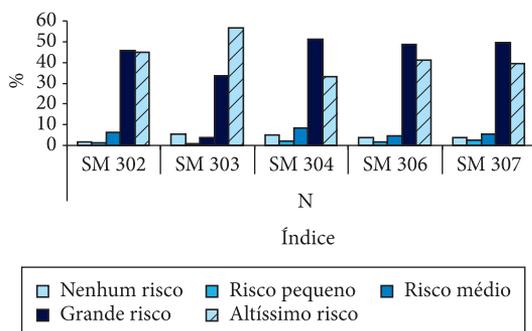


Figura 3. Ocorrência de incêndio, em porcentagem, de acordo com o índice de Nesterov.
Figure 3. Forest fire occurrence, in percentage, according to Nesterov index.

1965 a 1971, 27,5 e 50,7% dos incêndios ocorreram quando as classes de risco do índice FMA indicavam risco de incêndio alto e muito alto, respectivamente, e que no período de 1971 a 1990, 31,7 e 52,5% dos incêndios também ocorreram quando as classes de risco do índice utilizado indicavam risco de incêndio alto e muito alto. Esse fato mostra que o comportamento crescente e balanceado do número de dias com registro nas classes de maior risco de fogo é desejável e satisfatório.

Com base nas escalas dos índices estudados foram obtidos os valores previstos e os valores observados com e sem registro de incêndio. A partir desses dados, foram calculados os índices estatísticos (*Skill score* - SS e de Porcentagem de Sucesso - PS).

Os resultados obtidos pela FMA⁺ foram superiores quando comparados aos obtidos com os demais índices para SS e PS (Figuras 4 e 5). Os valores de SS para a FMA⁺ variaram de 0,1626 a 0,2055, enquanto para os outros índices o maior valor alcançado foi de 0,1503, obtido pela equação de

Nesterov. A FMA⁺ apresentou valores de PS variando de 51,54 a 56,47%, enquanto para os outros índices o valor máximo obtido foi de 46,75%, para o índice de Nesterov. Para a FMA original, foram observados os menores valores de SS e PS, equivalente a 0,0946 e 38,54%, respectivamente. De acordo com os resultados obtidos, observou-se que o índice de Nesterov apresentou valores intermediários de desempenho, superiores a FMA e inferiores a FMA⁺.

Nunes (2005) encontrou para a região de Telêmaco Borba, PR, valores de SS e PS iguais a 0,1165 e 55,64%, respectivamente, utilizando a FMA⁺. Sampaio (1999) obteve para a FMA os valores de 0,0607% para o SS e 36,92% para PS, em um estudo realizado na região de Agudos, SP. Através desses estudos é possível observar que dependendo das condições climáticas de cada região, os índices apresentam comportamento diferenciado, sendo que seu uso depende, desta forma, de uma análise prévia de desempenho. Isso comprova a semelhança entre os resultados de Nunes e desta pesquisa, mostrando a superioridade do Índice de Monte Alegre Alterado.

A FMA⁺ possui a variável velocidade do vento incorporada à fórmula original de Monte Alegre. Com a inclusão desta variável, este índice reflete, além da probabilidade de ignição, o potencial de propagação dos incêndios (Nunes et al., 2006). Neste estudo, grande parte das áreas analisadas é plana e possui plantios florestais de eucalipto, o que permite a livre circulação de ar sob o dossel, proporcionando uma condição de microclima específico. Diante destas condições, observou-se que, em comparação com os índices de Nesterov (N) e Monte Alegre (FMA), o índice de Monte Alegre Alterado (FMA⁺) apresentou o melhor desempenho, devendo ser utilizado para previsão do risco de incêndios nesta região.

4. CONCLUSÕES

A região de estudo, em função de suas condições climáticas locais, apresenta grande risco de incêndios na maior parte do ano. O sistema de prevenção e de primeiro combate de incêndios desenvolvido pela empresa Fibria apresenta grande eficiência, pois ao longo do tempo estudado, as perdas causadas por incêndios foram menores que 5%, considerando o

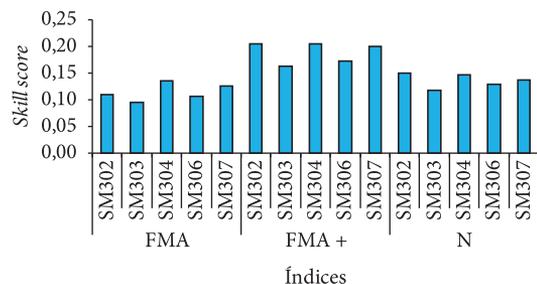


Figura 4. Valores de *skill score* para os índices de risco de incêndio.

Figure 4. Values of skill score to fire risk indexes.

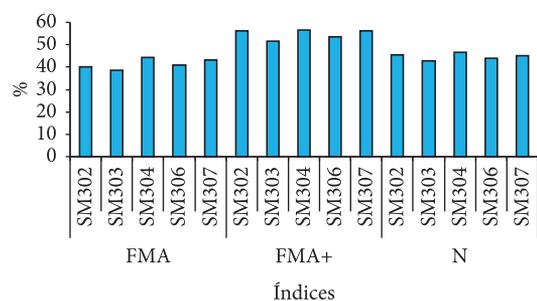


Figura 5. Valores de porcentagem de sucesso para os índices de risco de incêndio.

Figure 5. Values of success percentage to fire risk indexes.

risco, além da maioria dos incêndios causados de forma criminosa.

Os resultados de desempenho calculados pelo método estatísticos foram maiores para o índice FMA⁺ em comparação aos demais índices de risco, o que torna este índice o mais adequado para a região em estudo.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 16/12/2010

Aceito: 19/05/2011

Resumo publicado online: 25/06/2011

Artigo completo publicado: 30/06/2011

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Nilton César Fiedler

Departamento de Engenharia Florestal,
Centro de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,
Alto Universitário, s/n, CEP 29500-000,
Alegre, ES, Brasil
e-mail: fiedler@pq.cnpq.br

Reginaldo Gonçalves Mafía

Fibria Celulose S/A,
Rod. Aracruz Barra do Riacho, Km 25,
Aracruz, ES, Brasil,
e-mail: rgoncalves@fibria.com.br

REFERÊNCIAS

Deppe F, Paula EV, Meneghette CR, Vosgerau, J. Comparação de índice de risco de incêndio florestal

com focos de calor no estado do Paraná. *Floresta* 2004; 34(2):119-126.

Nunes JRS. *FMA + - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil* [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005. 169 p.

Nunes JRS, Soares RV, Batista AC. *FMA + - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil*. *Floresta* 2006; 36(1):75-91.

Sampaio OB. *Análise da eficiência de quatro índices na previsão de incêndios florestais para a região de Agudos - SP* [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1999. 157 p.

Sanf'anna CM, Fiedler NC, Minette LJ. *Controle de incêndios florestais*. Alegre: Suprema; 2007.

São Mateus. Prefeitura Municipal. *Aspectos geográficos do Município*. [cited 2011 jul. 29]. Available from: www.saomateus.es.gov.br.

Soares RV. *Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil* [dissertação]. Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA; 1972. 72 p.

Soares RV. Desempenho da “Fórmula de Monte Alegre” Índice Brasileiro de perigo de incêndios florestais. *Cerne* 1998; 4(1):87-99.

Soares RV, Batista AC. *Incêndios florestais - Controle, efeitos e uso do fogo*. Curitiba; 2007.

Tatagiba SD, Pezzopane JEM, Reis EF, Dardengo MCJD, Effgen TAM. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. *Cerne* 2007; 13(2):149-159.

Tetto AF, Batista AC, Soares RV, Nunes JRS. Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. *Scientia Forestalis* 2010; 38(87):409-417.