

# **RISCO DE FOGO PARA A VEGETAÇÃO DA AMÉRICA DO SUL : COMPARAÇÃO DE DUAS VERSÕES PARA 2003**

**Raffi Agop Sismanoglu<sup>1</sup>, Alberto W. Setzer<sup>2</sup>**

## **ABSTRACT**

Results from two versions of the CPTEC vegetation fire risk for South America are compared, and the choice of the latest one is justified. Only weather data were used since 1998; in the new version the presence of fires ascertains a high risk during three days for their corresponding grid cells. In 2003, for the November-May rainy period in most of Brazil, the fires in areas of elevated risk increased by ~30% in average. For June-October, when 70% (203.400) of the burnings occur, the increase was 6% in average. The weaker performance of the previous method results supposedly from poor weather information in the spatial interpolation where weather stations have low density; additionally, local aspects like early deforestation and vegetation clearing, and periods of fire control enforcement and prohibition, enhance the burnings when combustion efficiency is low. Using the variable of fire occurrence, of the 290 thousand fires in the continent in 2003, 94% occurred in areas of average, high and critic risk; in the fire season, the rate was ~97%. With the previous method, these values were, respectively, 83% and 94%. Following the improved results, the new method for fire risk evaluation was operationally adopted at CPTEC.

## **RESUMO**

Comparam-se resultados de duas versões do risco de fogo da vegetação gerado pelo CPTEC para a América do Sul, e justifica-se mudança para a mais recente. Desde 1998, empregavam-se apenas dados meteorológicos; na nova versão, a presença de focos atribui risco alto durante três dias nas sua células de grade correspondentes. Para 2003, no período de chuvas na maior parte do país, novembro-maio, os acertos de focos nas classes de risco elevado aumentaram em ~30% em média. Entre junho-outubro, com 70% (203.400) dos focos, o aumento foi 6% em média. O desempenho pior do método anterior decorre possivelmente de campos de dados meteorológicos incorretos por interpolação espacial, onde a rede de coleta tem baixa densidade; adicionalmente, aspectos locais como desmatamentos antecipados e desbastes, e períodos de fiscalização e proibição de queimadas,

---

<sup>1</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos- CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, Brasil  
Rod. Presidente Dutra, Km.39, Cachoeira Paulista, S.P. (12) 31869323  
raffi@cptec.inpe.br

<sup>2</sup> CPTEC/INPE - asetzer@cptec.inpe.br

propiciam queimas quando a eficiência de combustão é baixa. Com a variável de presença de focos, dos ~290 mil focos de 2003 no continente, 94% ocorreram em áreas de risco médio, alto e crítico; no período de queimadas, a taxa de acerto foi ~97%. No método anterior, estes valores foram, respectivamente, 83% e 94%. Pela melhora nos resultados, o novo método de risco de fogo passou a ser o operacional do CPTEC.

## INTRODUÇÃO

Desde meados da década de 80 o INPE desenvolve e aprimora [seu sistema operacional de detecção de queimadas](#) em imagens de satélites baseado nos dados da faixa ótica-termal de 3.7 a 4 um. Inicialmente, os focos eram obtidos nas imagens AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer") de um dos satélites da série NOAA (Setzer et al., 1992). No final de setembro/2002 a detecção de queimadas passou a ser feita também nas imagens do satélite Geoestacionário ["GOES Este" a cada três horas](#), e [nas imagens MODIS](#) dos novos satélites TERRA e AQUA da NASA, aumentando para pelo menos 16 as detecções diárias.

A partir do produto preliminar de risco de fogo com abrangência nacional introduzido em 1998 (Sismanoglu et al., 2002), algumas mudanças foram introduzidas em sua metodologia de acordo com o resumo na Tabela 1 a seguir.

| item | ANTES (1998-2002)   | ATUAL   |
|------|---|---|
| 1    | Vegetação com 5 classes, IBGE 92                                  | 3 índices de susceptibilidade (NDVI e 3.7um)  |
| 2    | Mapas e dados com 50 km de resolução                              | 25 km de resolução  |
| 3    | Cobertura Nacional  | Cobre quase toda América do Sul   |
| 4    | Não usava dados de focos  | Usam-se focos Noaa-12/noite e Noaa-16/tarde   |
| 5    | Validação c/dados jun-dez/02, ~130 mil focos                      | Avaliação c/ dados jan-dez /03, ~300 mil focos  |
| 6    | Previsão do risco diário com modelo CPTEC Global T063, de 200 km. | Risco diário c/ modelo CPTEC Global T126, de 100km. Também modelo ETA de 40km para o risco diário, e futuro semanal durante um mês. |

Tabela 1. Quadro resumo de mudanças e melhorias no cálculo do risco de fogo, desde 1998.

Encontra-se na Internet duas outras iniciativas nacionais para monitoramento de queimadas/incêndios florestais por satélites e de estimativas de risco de fogo da vegetação: a do [INMET, de abrangência geral](#), e a do [SIMEPAR, específica do Paraná](#). Esta última, denominada RIF -

Sistema de Monitoramento e Previsão Climática para o Risco de Incêndio Florestal no Paraná, foi organizada com a Defesa Civil, CEDEC, (Zaicovski et al., 2000; Deppe, de Paula e Prates, 2003), e diariamente, calcula os índices de risco de incêndios florestal conforme os métodos implementados por Soares (1995).

Este trabalho tem a finalidade de avaliar o desempenho diário do algoritmo de cálculo diário do risco de fogo para o país nos 12 meses de 2003 com o modelo atual, que incluí em sua metodologia dados de detecção de queimadas dos satélites NOAA, em relação à versão anterior que não incluía a ocorrência de focos. Na nova versão, há portanto uma "memória" dos focos em áreas anteriormente seriam consideradas de baixo risco.

## **MATERIAIS e MÉTODOS**

Inicialmente, todas as variáveis necessárias no cálculo do risco de fogo diário em 2003 foram reprocessadas, a saber: precipitação diária, inclusive os valores acumulados em 5, 10, 30, 60 e 90 dias anteriores ao dia do cálculo, temperatura máxima e umidade mínima do ar diárias, e dados dos focos das imagens NOAA-12 das passagens entre ~19h e ~21h UTC. Os dados meteorológicos foram extraídos do banco de dados do CPTEC (Ferreira et al., 2000), e sua filtragem, processamento, e interpolação para gerar campos espaciais, foram feitas com os procedimentos rotineiros do CPTEC (Almeida e Melo, 2000) e a visualização, com o aplicativo GRADS (Doty, 1985). Os focos de queimadas foram extraídos dos arquivos diários de coordenadas, gerados pela DSA/CPTEC no contexto do trabalho de monitoramento de queimadas do INPE (Setzer et al, 1992).

A partir dos dados meteorológicos e de ocorrência de focos, os riscos diários gerados pelas duas versões de cálculo para os 12 meses foram comparados célula a célula, cada uma com 0.25 graus de resolução (~25 km x ~25 km). As matrizes de Riscos X Focos foram agrupadas de acordo com as respostas das classes de níveis de risco elevadas, ou seja, com a ocorrência de focos nas classes de Risco Médio a Crítico, e de Alto a Crítico. A localização dos focos é necessária no segundo e novo método do risco, que força seu valor alto por três dias em células de grade de 25 km que contém focos.

### **Cálculo do Risco de Fogo (RF)**

O Risco de Fogo (RF) também chamado de "Risco Observado" é a base teórica de referência para a determinação dos demais "riscos" tais como: o previsto com os modelos ETA (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e Global T126 e além da versão semanal (futuro) aplicando o ETA com rodadas mais estendidas (Sismanoglu e Setzer, 2004c).

A seguir será apresentada, resumidamente a seqüência de cálculos do RF, estimados por Setzer (1998).

**Determina precipitação em mm nos períodos 1 dia , 2-4dias, 5-9 dias, 10-15 dias, 16-30 dias,-31-60 dias e 61-90 dias.**

Cada classe de precipitação, possui uma função exponencial  $f(x)$  variando de 0 a 1, chamados de "fatores de precipitação" que determinarão o período de secura (PSE) :

$$f(x_{n=1..90}) = e^{-A'_{(n=1,7)} \cdot P_{(n=1,7)}}$$

em que  $A'$  é constante para cada função, variando de -0.00018, para 90 dias de chuva acumulada a -0.1156, para 1 dia de chuva acumulada e  $P$  é a precipitação acumulada em mm

**Determina o número de Dias de Secura a partir dos fatores de precipitação.**

$$PSE = 105 * f(x1) * f(x5) \dots f(x90)$$

**Determina o risco de fogo "básico" (máx.=0.9 dependendo de PSE ) p/ cada um dos 5 tipos de vegetação.**

| CLASSVGET<br>(N=1,5) | VEGET.1    | VEGET.2     | VEGET.3             | VEGET.4                          | VEGET.5      |
|----------------------|------------|-------------|---------------------|----------------------------------|--------------|
| TipoVeget            | Ombr.densa | Ombr.Aberta | Contato+Campinarana | Estacional+Decídua+Semi-Deciaual | Não Floresta |
| Constte. A           | 1.715      | 2           | 2.4                 | 3                                | 4            |

$$\text{Risco Básico } (RB_{n=1,5}) = 0,9 * [1 + \sin(A_{n=1,5} * PSE)] / 2$$

**Corrige o risco de fogo para a umidade relativa da tarde.**

$$RU_{n=1,5} = RB_{n=1,5} (-0.056 * UR + 1.2306),$$

em que  $UR$  é umidade relativa observada das 18UTC

**Corrige o risco de fogo para a temperatura máxima**

$$RT_{\max n=1,5} = RU_{n=1,5} (0.01T_{\max} + 0.7),$$

em que  $T_{\max}$  é a temperatura observada das 18UTC

**Determina o Risco de Fogo (RF, variando de 0, risco mínimo a 1, risco crítico)**

$$RF_{n=1,5} = RT_{\max n=1,5} * RU_{n=1,5}$$

## **RESULTADOS**

Os resultados da avaliação da porcentagem de acertos dos 293.000 focos detectados com o NOAA-12, distribuídos em classes de níveis de risco de fogo, está na Tabela 2, e seu comportamento temporal pode ser visualizado no gráfico da Figura 1.

Com relação ao gráfico, a linha em azul contínua representa a porcentagem de acertos do total de focos observados na América do Sul diagnosticados em áreas de níveis Médio, Alto e Crítico pela metodologia nova (risco persistido); a curva azul tracejada, representa a mesma condição, porém com a metodologia anterior, sem considerar a presença de focos. A linha em vermelho contínua representa a porcentagem de acertos do total de focos observados na mesma região de abrangência, mas apenas nos níveis Alto e Crítico pela metodologia nova (risco persistido); a curva vermelha tracejada representa a

mesma condição com a metodologia anterior. Por exemplo, considerando o mês de janeiro com o método anterior, verifica-se que 48% dos ~10.700 focos deste mês foram diagnosticados como ocorrendo em áreas de risco Alto a Crítico, e 60% em risco Médio e Crítico. Pelo novo método, os mesmos índices de acertos foram de 68% e 80%, respectivamente. Os dados originais para todos meses podem ser encontrados na Tabela 2.

| MESES                 |          |       | JAN    | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN    | JUL    | AGO    | SET    | OUT    | NOV    | DEZ    | TOTAL   |
|-----------------------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Risco                 |          |       |        |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        | 2003    |
| Alto e Crítico        | Versão 1 | Focos | 10.668 | 9.527 | 8.210 | 6.258 | 5.671 | 11.774 | 23.913 | 42.728 | 72.833 | 52.167 | 30.422 | 18.023 | 293.000 |
|                       |          | %     | 48     | 49    | 68    | 48    | 38    | 75     | 93     | 86     | 83     | 72     | 53     | 54     | 71      |
|                       | Versão 2 | %     | 68     | 68    | 78    | 63    | 66    | 83     | 94     | 90     | 87     | 80     | 65     | 62     | 86      |
| Médio, Alto e Crítico | Versão 1 | Focos | 10.668 | 9.527 | 8.210 | 6.258 | 5.671 | 11.774 | 23.913 | 42.728 | 72.833 | 52.167 | 30.422 | 18.023 | 293.000 |
|                       |          | %     | 60     | 60    | 78    | 69    | 59    | 90     | 97     | 95     | 92     | 80     | 72     | 67     | 83      |
|                       | Versão 2 | %     | 80     | 80    | 88    | 82    | 87    | 97     | 98     | 98     | 96     | 88     | 85     | 76     | 94      |

Tabela 2. Porcentagens de acertos da ocorrência dos focos de queimadas em áreas com risco de fogo Médio, Alto e Crítico da vegetação para duas versões de cálculo em 2003.

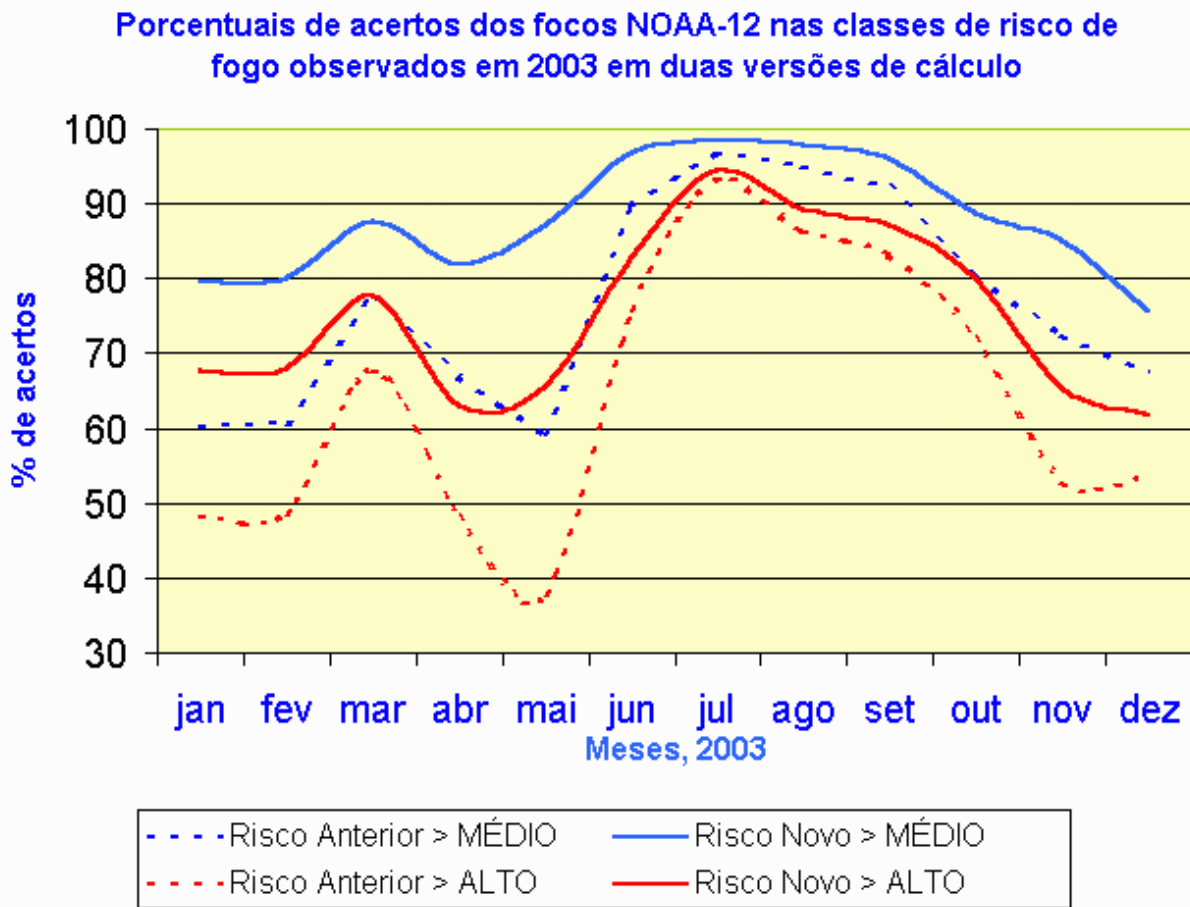


Figura 01 - Porcentuais de acertos do total de focos NOAA-12 nas classes de risco elevado de fogo observados em 2003 para duas versões de cálculo: sem, e com focos. Fonte: INPE/DAS

Em termos gerais, a introdução do termo do foco persistido melhorou os índices de acertos das curvas em mais de 20 pontos percentuais o que significa 30% em média, nos dois níveis estudados, especificamente em períodos de baixa ocorrência de queimadas no Brasil, mas de alta em alguns países vizinhos, i.e., de novembro a maio. Deve-se salientar que a maioria dos focos na primeira metade deste período ocorre em países vizinhos, e os da segunda metade mais no norte da Amazônia, na Venezuela, e no Nordeste do país.

Cabe notar que o noroeste da América do Sul, incluindo partes da Venezuela, Colômbia e Peru, estão sujeitos a ausência de cobertura das imagens NOAA-12 e à falta de dados, especialmente de precipitação (Sismanoglu e Setzer, 2004b). De qualquer forma, para a área continental monitorada como um todo, a introdução do termo do foco persistido, complementa a inexatidão do risco calculado pelo método anterior em áreas de poucas informações meteorológicas.

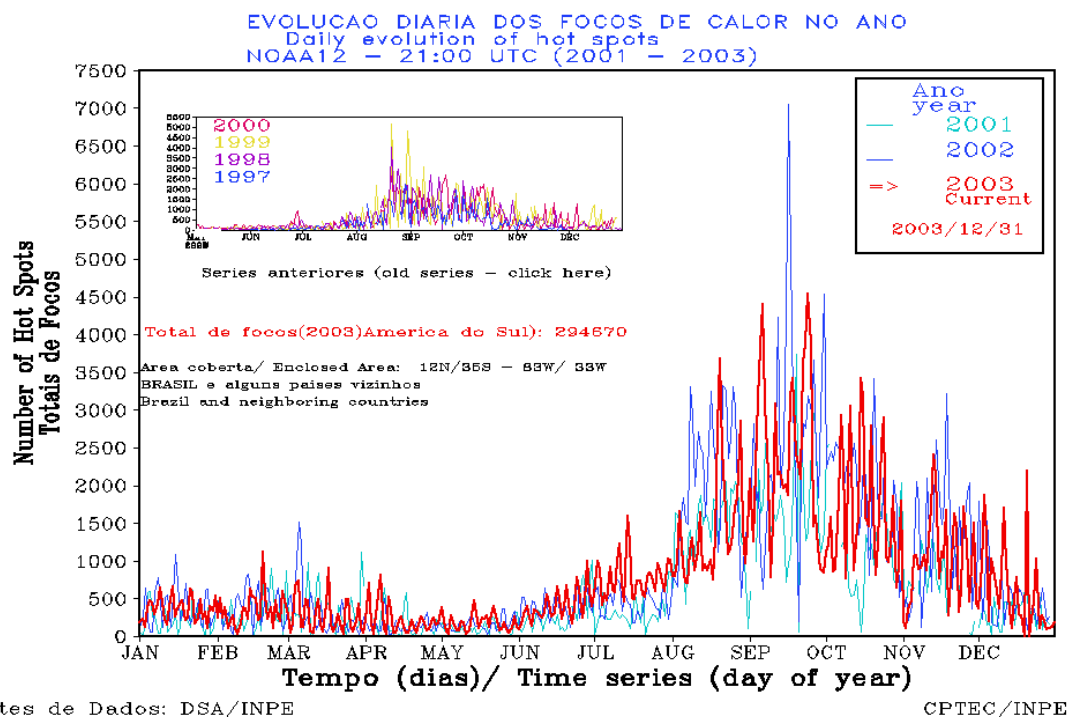


Figura 02 - Evolução temporal dos focos detectados pelo Noaa-12 entre ~19h e ~21h UTC na América do Sul. Destaque para a curva vermelha de **2003**. Fonte: INPE/DSA.

No período de maior frequência de queimadas, de junho a outubro, a inclusão da presença de focos no cálculo do risco melhorou em 5 pontos percentuais o que significa 6% de aumento em média os índices de acertos das curvas dos dois níveis, índices estes já antes considerados satisfatórios. O aumento relativamente pequeno é explicado pelo fato de a maior quantidade de focos neste período ocorrer em áreas de risco elevado, e da capacidade do modelo em reproduzir corretamente estes riscos devido à estiagem prolongada e estável em vastas regiões.

Quantitativamente, ao considerar no cálculo do risco o uso de focos, na média, mais de 95 % dos quase 300.000 focos detectados pelo Noaa-12 nas passagens das ~19 às ~21UTC em 2003 ocorreram em vegetação com níveis de riscos Médio a Crítico; esta condição pode ser visualizada ao longo do ano na Figura 2, e comparada com o acerto do risco conforme o método antigo, sem incluir os focos observados. Considerando apenas as classes de risco extremas, Alto e Crítico, nota-se que 90% dos focos ocorreram nesta faixa para o período de junho a setembro, justamente quando se concentram a maioria das ocorrências.



Na Figura 2 verifica-se também que a curva da faixa de risco Alto a Crítico do método atual superou a curva da faixa Médio a Crítico do método anterior para janeiro a julho, no período de baixa incidência de queimadas. Adicionalmente, de acordo com o verificado por Sismanoglu e Setzer (2004b), o novo método de cálculo do risco de fogo também melhorou significativamente os resultados do risco de fogo previsto para até 3 dias, com base nos modelos ETA e GLOBAL do INPE, aumentando de maneira semelhante as porcentagens de acertos para um dia de prognóstico.

### **Aplicações do Risco de Fogo**

O pré conhecimento das condições ambientais favoráveis à prática das queimadas serve de apoio a instituições governamentais e a diferentes grupos da iniciativa privada responsáveis pelo manejo e fiscalização de áreas protegidas. O apoio tem ocorrido tanto no diagnóstico de situação, como nos prognósticos diários do risco de acordo com os modelos numéricos utilizados. A seguir, indica-se três exemplos operacionais que empregam os resultados.

a) Na Amazônia, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, do Ministério do Meio Ambiente, por meio do [PROARCO](#), o Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal, identifica as áreas de maior risco de ocorrência de incêndios florestais, integrado a um sistema de monitoramento e avaliação de risco para a tomada de decisões. O sistema é apoiado em técnicas de geoprocessamento e previsão meteorológica.

b) Monitoramento dos focos em unidades de conservação A Coordenação Nacional do [PREVFOGO](#), Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Ibama, é informada diariamente da ocorrência de focos de calor em Unidades de Conservação Federais e, caso seja confirmado incêndio, em função do nível do risco do fogo, toma as providências necessárias para o seu combate.

c) A [concessionária Nova Dutra](#), que administra a Rodovia Presidente Dutra, entre RJ e SP, utiliza diariamente o risco de fogo nas margens da malha rodoviária de seu interesse por meio dos Centros de Controle de Operações.

### **CONCLUSÃO**

A avaliação em 2003 da porcentagem de ocorrências de focos em áreas de risco de fogo com classes Alta e Crítica, e Média a Crítica para as queimadas detectadas pelo satélite Noaa-12 entre ~19 e

~21UTC apresentou resultados satisfatórios, com índices de acertos superiores a 95% nos períodos críticos, considerando os dois métodos de cálculo.

Com relação à nova metodologia, que introduz a presença de focos em regiões com risco hipotético baixo, os índices máximos atingiram 98% de acertos nas classes Média a Crítica, especialmente nos períodos de concentração de queimadas, i.e., de julho a agosto. Na versão anterior, no período crítico, e especialmente no Brasil Central e no Nordeste, os índices de acertos variaram entre 59% e 80 %, e em junho, julho e agosto, entre 90% e 97%. Entretanto com a nova versão, estes índices passaram para 87% a 88%, e para 97% a 98%, respectivamente.

Constatou-se que nos períodos de baixa ocorrência de queimadas, o novo método superou em 20 pontos percentuais o índice de acertos de focos nas classes Média e Crítica em relação ao método anterior; como esperado, esta condição teve desempenho inferior à que considera três classes de risco, Médio, Alto e Crítico. Estes novos resultados também implicaram em melhorias no cálculo do risco de fogo diário previsto para até 3 dias com base nos modelos ETA e GLOBAL do INPE (Sismanoglu e Setzer, 2004b), devendo inclusive melhorar o desempenho em outros modelos de dispersão de poluentes, como o RAMS (Freitas et al, 2004).

Considerando todo o ano de 2003, as classes de risco mais elevadas que teoricamente são as mais importantes e representativas para as queimadas, apresentaram em média 15 pontos percentuais de diferença entre as duas versões, ao passo que as classes média a crítica apresentaram desempenho inferior, ou seja 11 pontos percentuais.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores desejam expressar o apreço às diversas pessoas e Instituições Públicas que colaboraram ou financiaram diretamente à execução destes trabalhos, em especial o INPE, IBAMA/PNUD pelo apoio técnico e financeiro e às equipes do DSA e do Cptec.

## **REFERÊNCIAS**

Almeida, E. S., Melo, F. O, 2000. Metview 2.0 - Um desktop meteorológico para tratamento e visualização de dados meteorológicos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...RJ**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3256-3262.

- Deppe, F., de Paula, E.V. e Prates, J.E., 2003. Monitoramento de incêndios e do estado da vegetação através da utilização de imagens NOAA/AVHRR. **Anais...** 9, 2003, Simp.Brás. Sens. Remoto, B. Horizonte, Brasil, 05 -10 abril 2003, INPE, p. 453-460.
- Doty, B.E., 1985. Using the grid analysis and Display System - Grads . Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), College Park, MD, University of Maryland.
- Ferreira, S.H.S. et al., 2000. Banco de Dados Meteorológicos para o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...**RJ: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3118-3125.
- Freitas, S.R., Longo, K.M., Silva Dias , M.A F., et al. Monitoring the Transport of Biomass Burnig Emissions in South America, *Environmental Fluid Mechanics*, 2004. In press
- Inmet. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:  
<[http://www.inmet.gov.br/queima/foco\\_calor.html](http://www.inmet.gov.br/queima/foco_calor.html)>. Acesso em: 23 fev. 2004.
- Nova Dutra. Concessionária Nova Dutra. Disponível em: <<http://www.novadutra.com.br/>>. Acesso em: 15 março 2004.
- PrevFogo Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em:  
<<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/>>. Acesso em: 12 jan. 2004.
- Proarco. Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em:  
<<http://www2.ibama.gov.br/proarco/>>. Acesso em: 5 maio 2004.
- Setzer et al., 1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. *Climanálise*, 7 (8): 40-53, agosto/1992.
- Sismanoglu, R.A. et al., 2004. Avaliação inicial do desempenho do risco de fogo gerado no Cptec. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais...** SP: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002, p.1991-1999.
- Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W., 2004. Avaliação da Previsão do Risco de Fogo desenvolvida no INPE aplicando o ETA: Análise objetiva e comparativa entre duas versões para 2003. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais...**Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004b.(Submetido).
- Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W. Previsibilidade do Risco de Fogo Semanal aplicando o Modelo ETA em até 4 semanas com atualização de dados observacionais na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais...**Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004c.(Submetido).
- Soares, R. V., 1995. **Incêndios Florestais - Controle e uso do fogo**. Fundação de Pesquisas Florestais (Fupef) do Paraná. Curitiba – Paraná.
- Zaicovski, M. B.; Guetter, A. K.; Quadro, M. F. L., 2000. Sistema de Monitoramento e Previsão Climática para o risco de incêndio florestal (RIF) no Paraná. Em: Congresso Brasileiro de

Meteorologia, X, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais..** RJ: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3406-3412.