

# DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE HAINES PARA MINAS GERAIS POR ANÁLISE DA MÉDIA ATMOSFERA

Carlos Fernando Lemos<sup>1</sup>, Flávio Barbosa Justino<sup>2</sup>, Luiz Cláudio Costa<sup>3</sup>, John Edmund Lewis Maddock<sup>4</sup>

**RESUMO** – As queimadas são responsáveis por custos financeiros e degradação ambiental. Este estudo avalia as áreas de risco de incêndio, com base no índice de Haines (IH) em setembro de 2003, em comparação com a climatologia de 1968-1995. Setembro é o mês mais crítico para incêndios florestais. A avaliação se baseia no NCEP/NCAR Reanalysis (National Center for environmental Previsão/National Center for Atmospheric Research). Os resultados demonstram que o Índice de Haines era capaz de reproduzir as áreas com maior incidência de fogo. Este índice mostrou que a atmosfera era mais suscetível ao desenvolvimento de fogo em setembro de 2003, em comparação com a climatologia. Esta pesquisa irá ajudar a gerenciar as áreas críticas e a tomada de decisões estratégicas para combate a incêndios no estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: Climatologia, incêndios florestais, modelagem.

## ***SPATIAL DISTRIBUTION OF THE HAINES INDEX FOR MINAS GERAIS BY ANALYSIS OF AVERAGE ATMOSPHERE***

**ABSTRACT** – *Wildfire is responsible for financial costs and environmental degradation. This study evaluates the areas of fire risk based on Haines Index (IH) in September of 2003, as compared to the 1968-1995 climatology. September is the most critical month for wildfires. The evaluation is based on the NCEP/NCAR Reanalysis (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). The results demonstrate that the Haines index was able to reproduce the areas with highest incidence of fire. In this the index has showed that the atmosphere was more susceptible to fire development in September of 2003 as compared to the climatology. This survey will help you manage the critical areas and strategic decision-making for fire control in the State of Minas Gerais.*

*Key Words: Climatology, forest fires, modeling.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O Índice de Haines (IH) (Haines, 1988) é uma ferramenta para gerenciar e controlar queimadas e incêndios, muito utilizado nos Estados Unidos, na Europa, na Ásia e na Austrália. Este índice relaciona a estabilidade atmosférica e a umidade relativa do ar, para a previsão de queimadas e incêndios florestais. O ar seco afeta o comportamento do fogo, resultando em mais combustível para queimar e aumentar a probabilidade de espalhamento da queimada.

As variações climatológicas indicam e ajudam a gerenciar as áreas críticas e a tomar decisões estratégicas para o controle de queimadas e incêndios florestais, assim como verificar o comportamento do Índice de Haines para cada meso-região de alto e moderado risco.

O desmatamento é responsável por 18% das emissões globais de gases responsáveis pelo efeito estufa, o que equivale, por ano, em todo o mundo a áreas de florestas equivalentes ao território de Portugal. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, as

<sup>1</sup> UFV - Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas - Tecnologia em Gestão ambiental - Campus Florestal - Florestal - MG. E-mail: fernando.lemos@ufv.br

<sup>2,3</sup> UFV - Dept. de Engenharia Agrícola e Ambiental - Campus da UFV - Viçosa - MG. E-mail: fjustino@ufv.br, lcosta@ufv.br

<sup>4</sup> UFF - Dept. de Química - Geoquímica Ambiental - Outeiro São João Batista, s/n - Niterói - RJ. E-mail: jmaddock@geoq.uff.br



queimadas são na maioria de origem antrópica, sendo, portanto, o IH uma medida das condições atmosféricas suscetíveis para o alastramento de fogo.

A agricultura pode sofrer abalos com a mudança do regime de chuvas e modificações nos solos, o que diminui a produtividade e a segurança alimentar, e pode causar migrações e conflitos na população. Segundo o IPCC (2001), apesar de o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> estimular o crescimento das plantas, as vantagens desse crescimento não compensam os malefícios do aquecimento global (Kochtubajda, 2001). Podem ocorrer modificações nas culturas e na criação de animais, pois a adaptação às mudanças climáticas pode envolver ajustes nas épocas de semeadura e de colheita, quantidades de fertilizante, frequência de irrigação, cuidados com os cultivares e seleção de novas espécies de animais mais adaptadas (Confalonieri, 2001).

Em aproximadamente 85% das propriedades rurais, a presença de fogo acidental em áreas de abertura incidem principalmente sobre pastagem, danificando cercas e reduzindo a capacidade de pastejo (Alencar et al., 1997; Nepstad et al., 1999).

O ar seco afeta diretamente o comportamento do fogo, aumentando a probabilidade de ocorrer um espalhamento maior da queimada. Além disso, a atmosfera instável devido à presença do fogo é dominada por centros de baixa pressão, levando a uma intensificação dos ventos de superfície, o que pode acarretar um alastramento do fogo. A investigação do teor do vapor d'água na atmosfera, bem como a análise dos sistemas de meso e pequena escala associada com a instabilidade atmosférica, como proposto por Haines (1988), é extremamente útil para a previsão e o monitoramento do desenvolvimento das queimadas. Segundo Lemos (2006), existem evidências claras de uma forte relação entre as condições de estabilidade atmosférica (Alta Subtropical do Atlântico Sul), umidade baixa e o desenvolvimento das queimadas.

Assim, o objetivo deste estudo foi usar o Índice de Haines como uma ferramenta no combate a queimadas no Brasil e em Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

1) Inicialmente foram feitas análises dinâmicas e sinóticas de grande escala sobre Minas Gerais do mês de setembro, para obter-se uma visão geral do escoamento da atmosfera, direção dos ventos, índices

pluviométricos, sistemas sinóticos dominantes e fenômenos atmosféricos que influenciam o clima e o micro clima de cada região. (Climanálise, 2003). Os resultados foram obtidos pela análise dos dados da Circulação Geral da Atmosfera (CGA), a reanálise de dados do Modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT) do National Center for Environmental Prediction (NCEP), do período de 1979 a 1995. Os ventos foram analisados numa grade de 2,5 graus e interpolados para uma grade de 5 graus em Projeção Mercator para visualização (Climanálise, 2003). Estes dados originais foram gerados no Supercomputador SX-6 da NEC do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e foram obtidos através do Site oficial do NOAA (National Oceanic Atmospheric Agency) na internet, um serviço gratuito, e foram coletados para a realização desta reanálise e para o cálculo das linhas de corrente que atuaram sobre a América do Sul ([www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html)).

A reanálise foi feita para aumentar a confiabilidade do modelo e da previsão de tempo, isto é, foram acrescentados os dados reais que não foram utilizados na primeira análise do modelo (Lemos, 2000).

2) O estudo climatológico sobre o estado de Minas Gerais foi realizado com precipitação total e os desvios de precipitações em relação à média climatológica (1961-1990).

3) A análise da média atmosfera (~1.500 m) do Índice de Haines (Haines, 1988) foi obtida pelo Software GRADS utilizando-se um Supercomputador SX-6 no CPTEC/INPE (Centro de Previsão e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para a realização das rodadas dos dados (Brian, 1995; Lemos, 2006).

Para os dados de queimadas, foram gerados 30 mapas da análise da média atmosfera durante do mês de setembro de 2003, que são as melhores referências do Índice de Haines em estudo de curto prazo (Werth & Werth, 1998).

4) Foram obtidas as imagens totais de queimadas do satélite NOAA-12 da passagem das 12 UTC (*Universal Time Coordinated*), coletadas através do DAS (Divisão de Satélites Ambientais) do INPE.

Foi escolhida a passagem do satélite NOAA-12 e 16 UTC entre 21:00Z e 22:45Z (horário de Brasília entre 18:00h e 19:45 h), que engloba os focos de calor



detectados por passagens realizadas durante o final da tarde e início da noite, que representam as queimadas ainda ativas (Setzer, 1992). O número de focos obtidos por esta passagem representa a melhor estimativa das queimadas ocorridas no dia. Isto significa que estes focos de calor continuarão durante o período da madrugada e manhã, caso não ocorram chuvas suficientes para a extinção nestas áreas de incidência.

5) Por fim, foram gerados gráficos comparativos e estatísticos do número total diário de queimadas no estado de Minas Gerais associado à porcentagem (%) de áreas indicadas pelo modelo com moderado (5) e alto Índice de Haines (6), para se obter o índice de acertos comparativos e locais de cada ponto determinado pelo modelo Eta no estado de Minas Gerais.

## 2.1. Índice de Haines

### 2.1.1. Introdução

O Índice de Haines (IH) é um índice que indica o local em potencial para incêndios (queimadas) que já começaram e no qual poderá ocorrer queimadas ou incêndios florestais de grandes proporções, chamados de “blow-up”. Um foco de calor em “blow-up” conduz a comportamentos extremos de queimadas, que se tornam incontroláveis para se combater (Haines, 1988, 1991, 1997).

Durante anos, valores característicos de condições de estabilidade atmosférica, com baixa umidade do ar, indicaram a propagação de queimadas em grandes áreas remotas nos Estados Unidos (Brotak & Reifsnnyder, 1977). Donald Haines verificou que a maioria das ocorrências aconteceu em dias em que a umidade do

ar estava muito baixa e a atmosfera estava bastante estável (Haines, 1988).

O Meteorologista Donald Haines realizou uma análise estatística de várias propriedades atmosféricas para determinar quais parâmetros variaram significativamente na climatologia em dias com crescimento de queimadas.

Assim, Haines concluiu que a temperatura da camada na atmosfera  $T(^{\circ}\text{C})$ , a temperatura do ponto de orvalho da camada na atmosfera  $T_d(^{\circ}\text{C})$  e o baixo nível de umidade relativa na superfície (%) relacionaram significativamente com a climatologia, em dias em que ocorreram desenvolvimento de queimadas em grandes áreas (Haines, 1991).

Este Índice também é combinado com parâmetros meteorológicos modelares tais como: temperatura máxima do dia anterior, média anual de precipitação, últimos dados pluviométricos (mm) médios durante todo o período (24 horas), velocidade do vento, umidade relativa do ar, índices pluviométricos (mensais e anuais), dentre outros. Estes parâmetros são necessários para acrescentar o fator de umidade (dependendo da climatologia de precipitação).

### 2.1.2. Cálculo do Índice de Haines (IH)

O cálculo do IH nas três camadas verticais atmosféricas, a saber: na baixa (950-850hPa); média (850-700hPa) e alta (700-500hPa), está associado à necessidade de se ter um mapeamento na superfície devido aos distintos níveis de topografia. Matematicamente o IH é definido pela soma do componente da estabilidade (A) e do componente da umidade atmosférica (B) ( $A + B = \text{IH}$ ). Como definido na Tabela 1, o termo A representa a mudança de

Tabela 1 - Cálculo do IH (Índice de Haines)

Elevação(altitude)	Componente de Estabilidade (A)		Componente de Estabilidade (B)	
	CÁLCULO	CATEGORIA	CÁLCULO	CATEGORIA
BAIXA ATMOSFERA <= 500 m	$A = T_{950\text{hPa}} - T_{850\text{hPa}}$	A= 1 se < 4°C A= 2 se 4 -7°C A= 3 se >=8°C	$A = T_{950\text{hPa}} - T_{d850\text{hPa}}$	A= 1 se < 6°C A= 2 se 6 -9°C A= 3 se >=10°C
MÉDIA ATMOSFERA 500 A 1.500 m	$A = T_{850\text{hPa}} - T_{700\text{hPa}}$	A= 1 se < 6°C A= 2 se 6 -10°C A= 3 se >=11°C	$A = T_{850\text{hPa}} - T_{d700\text{hPa}}$	A= 1 se < 6°C A= 2 se 6 -12°C A= 3 se >=13°C
ALTA ATMOSFERA >= 1.500 m	$A = T_{700\text{hPa}} - T_{500\text{hPa}}$	A= 1 se < 6°C A= 2 se 6 -10°C A= 3 se >=11°C	$A = T_{700\text{hPa}} - T_{d500\text{hPa}}$	A= 1 se < 15°C A= 2 se 15 -20°C A= 3 se >=21°C

Fonte: Modificado por Winkler et al. (2005) e Lemos (2006).



temperatura com altura, e o termo B caracteriza a depressão do ponto de orvalho para um determinado nível. O T representa a temperatura do ar e Td é a temperatura do ponto de orvalho. A partir da soma dos dois termos (A e B) tem-se o valor nominal do IH que varia de 2 a 6, sendo 2 associado a uma pequena possibilidade de queimadas de grande porte e 6 a uma alta probabilidade.

Assim, se  $A+B=IH$  os valores: 2 e 3: risco muito baixo; 4: risco baixo; 5: risco moderado; 6: risco alto.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise da circulação geral da atmosfera sobre o Brasil e Minas Gerais

Na Figura 1, são mostrados padrões médios do mês de setembro de 2003. O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima do Brasil.

Em 850hPa (aproximadamente 1500m) apresentou padrão consistente com as anomalias de PNM (Pressão ao Nível do Mar). O anticiclone do Atlântico Sul basicamente inibe a formação de nuvens sobre a região em que está atuando, causando subsidência, deixando a região em questão com céu claro e com poucas nuvens, os ventos sopram do seu centro para a sua extremidade e seu centro possui pressões atmosféricas superiores às suas extremidades (Lemos, 2006).

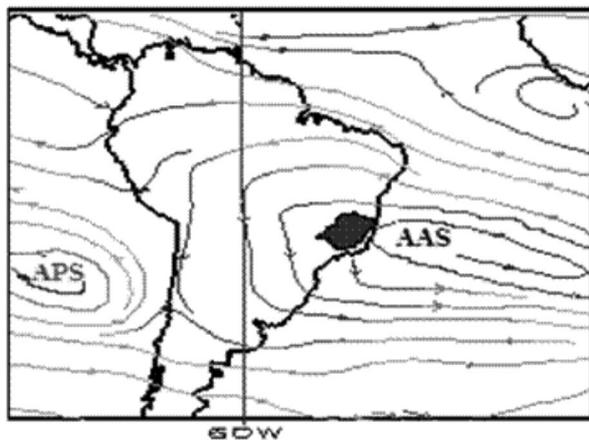


Figura 1 - Linhas de Corrente médio em 850 hPa em Setembro/2003. Os ventos são analisados numa grade de 2,5 graus e interpolados para uma grade de 5 graus em Projeção Mercator para visualização.

Fonte: NCEP/Climanálise (2003).

Analisando-se a imagem de satélite GOES-12, na faixa visível, no dia 25/09/2006, por ser o dia mais crítico deste mês de 2003, verificou-se que um sistema frontal encontrava-se sobre o estado de Santa Catarina e Paraná.

Em todo o estado de Minas Gerais havia ausência de nuvens, devido à atuação da alta subtropical do Atlântico que estava posicionado na retaguarda do sistema frontal (Figura 2).

O escoamento atmosférico médio à superfície sobre a América do Sul e Oceanos circunvizinhos mostrou a presença dos Anticiclones Semiestacionários do Atlântico Sul e do Pacífico Sul, responsáveis, em grande parte, pelas condições de tempo sobre o Continente Sul Americano, pois exercem influência destacável na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. Suas posições e intensidade modificam-se ligeiramente entre os períodos de verão e inverno.

O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima brasileiro, durante agosto, setembro e outubro. O Anticiclone Semiestacionário do Atlântico Sul inibe a formação de nuvens sobre a região em que atua causando subsidência, deixando a região em questão com céu claro e poucas nuvens (Lemos, 2000).

Durante este período, este sistema reinicia o deslocamento para leste, isto é, na direção do Atlântico, cuja periferia encontra-se sobre a região central do Brasil, favorecendo a ligeira intensificação dos ventos sobre esta região e áreas; com isto, os Índices de Haines

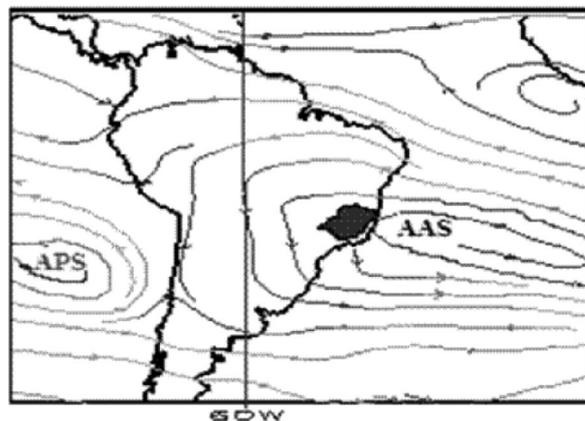


Figura 2 - Imagem de satélite GOES-12, dia: 25/09/2003, canal visível, às 1809Z.

Fonte: DAS/INPE (2003).



durante este período indicam valores de Moderado (5) a alto (6) em toda a periferia deste sistema, principalmente na face oeste da Alta Subtropical do Atlântico (AAS) que está atuando sobre o centro-oeste do estado de Minas Gerais.

### 3.2. A climatologia mensal

Devido às passagens dos sistemas frontais que atuaram sobre a região, observamos que entre os dias 03 e 06, 12 e 16, e 28 e 30 de setembro de 2003 ocorreu uma faixa linear do índice de Haines de Baixa (4) e muito baixa (2 e 3) na região sudeste do Brasil e no estado de Minas Gerais. Este sistema frontal mais intenso atingiu o estado de São Paulo no dia 11 de setembro de 2003 (Climanálise, 2003).

Entre 12 e 16 de setembro, este sistema frontal atuou sobre a região sudeste e sobre o estado de Minas Gerais. Entre os dias 28 e 30 o modelo indicou este mesmo perfil, devido à passagem de um novo sistema frontal sobre a região sudeste do Brasil, inibindo o desenvolvimento de queimadas no estado.

Na região sudeste, o mês de setembro é de transição entre as estações seca e a chuvosa e foi marcado por chuvas predominantemente abaixo da média histórica, principalmente no sul de Minas Gerais, leste do Triângulo Mineiro e grande parte da região central do estado (Figura 3) (Climanálise, 2003).

Verificamos que a precipitação total em todo o estado ficou abaixo de 25 mm durante o mês, somente na região oeste do Triângulo Mineiro e na região oeste de Minas. Os valores médios ficaram entre 50 e 100 mm mês, devido a passagens dos sistemas frontais (Figura 3).

Outro detalhe importante é que no mês de setembro ocorre o desfolhamento das plantas e por sua vez a precipitação é também reduzida.

A maior parte das queimadas e incêndios florestais é detectada nos períodos de estiagem, devido à baixa umidade relativa, pois setembro é o mês mais quente do ano no Brasil, devido à baixa umidade relativa do ar (Lemos, 2000). Porém, como sua ignição depende na maioria dos casos de intervenção humana, padrões locais de uso do solo, de transformação da vegetação e de tecnologias agrícolas devem necessariamente ser incorporados em modelos de potencial de ocorrência de queimadas e incêndios intencionais, inclusive em períodos chuvosos (Setzer, 2004).

Os desvios em relação aos valores médios históricos registraram valores acima da média climatológica no oeste do Triângulo Mineiro, extremo leste da Zona da Mata e no norte de Minas Gerais (Climanálise, 2003). Nas demais áreas registraram valores com desvios variando entre -20 e -25 mm.

Ressalta-se que nas regiões de valores inferiores a -25 mm, o modelo indicou áreas de moderado (5) e altos índices (6) de Haines, isto é, valores com grande potencial de risco de queimadas e de incêndios tomarem-se incontroláveis (Figura 4).

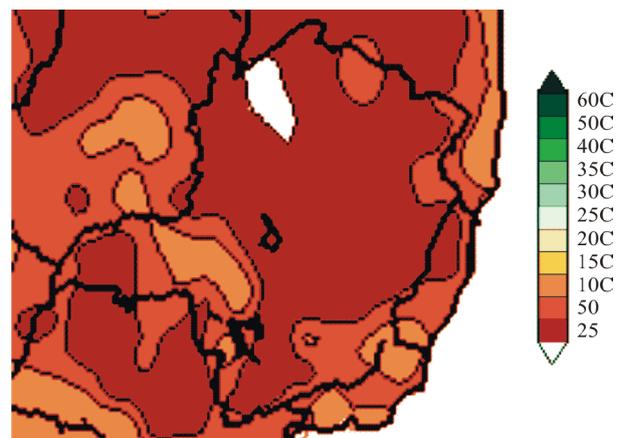


Figura 3 - Precipitação total em mm para Setembro-2003. Fonte: Climanálise (2003).

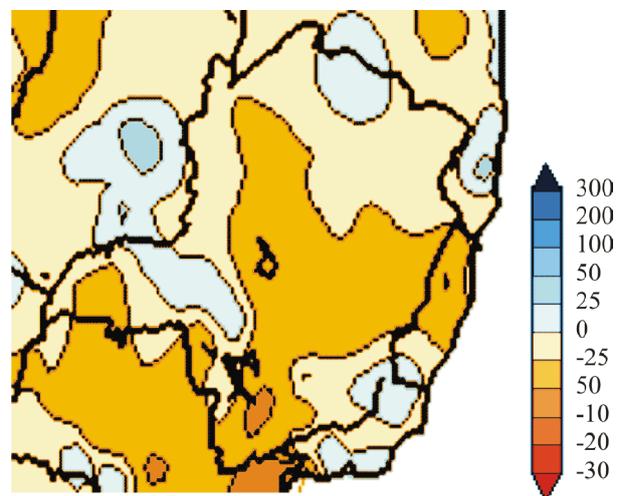


Figura 4 - Desvios de precipitação em mm em relação à média climatológica (1961-1990) para Setembro-2003. Fonte: Climanálise (2003).

Apesar da entrada dos seis sistemas frontais na região sudeste, as chuvas ocorreram abaixo da média histórica. Os sistemas frontais ocorreram dentro da normalidade para o mês de setembro de 2003. Foram três frentes frias que atuaram com mais intensidade no estado de Minas Gerais, entre os dias 03 e 06/09/2003, sendo este sistema mais intenso entre os dias 12 e 16/09/2003, e nos dias 26 a 30/09/2003.

As bacias hidrográficas continuaram apresentando baixos valores de precipitação. Verificamos que as vazões em  $m^3/s$  e desvios em relação à MLT (valores Médios de Longo Termo), expressos em porcentagem em setembro/2003, observados em Três Marias com valores de  $141,0 m^3/s$  e  $-35,3\%$ , em Emborcação de  $159,00 m^3/s$  e  $-1,9\%$ , em Itumbiara-MG de  $433,0 m^3/s$  e  $-16,6\%$  e em São Simão-MG de  $898,0 m^3/s$  e desvio positivo de  $5,9\%$  (Climanálise/2003).

### 3.3. As queimadas

As queimadas no Brasil totalizaram 57.262 focos durante setembro de 2003 (Figuras 5A e 5B).

No estado de Minas Gerais foram registrados 4.546 focos de queimadas, representando 7,94% do total de queimadas no Brasil. Observa-se que na região de Rio Doce, Mucuri, Jequitinhonha e no norte de Minas as maiores concentrações ocorreram durante o período entre 24 e 29 deste mês.

Houve um decréscimo de 6% em relação ao mesmo período do ano de 2002. Ao contrário de 2002, as regiões nordeste, sul e sudeste registraram aumento significativo das queimadas em função da estiagem e das altas temperaturas do ar (Climanálise, 2002).

### 3.4. A distribuição espacial do Índice de Haines sobre o estado de Minas Gerais em setembro de 2003 da média atmosfera

Analisando-se a distribuição do índice de Haines sobre o estado de Minas Gerais, (Figuras 6 e 7) verificou-se que a evolução espacial do Índice de Haines acompanhou o desenvolvimento das queimadas em todo o estado (Tabela 2).

Na primeira quinzena, o modelo indicou áreas de alto risco no extremo oeste do Triângulo Mineiro, região central do estado, centro-leste e norte do estado e somente no dia 09/09/2003 o modelo indicou na região do sul de Minas.

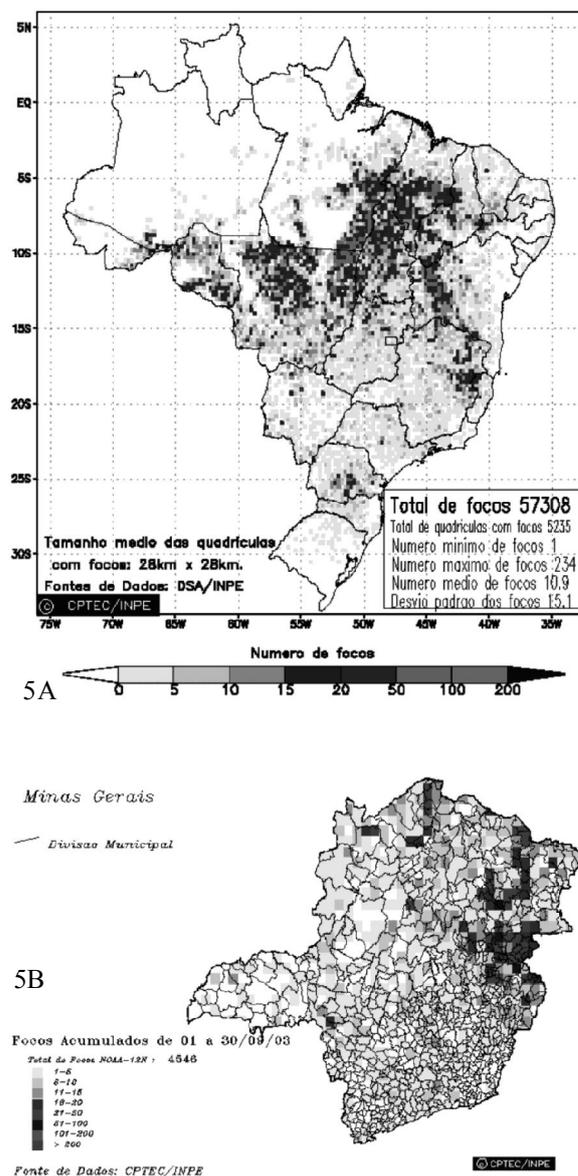


Figura 5A e 5B - Distribuição espacial de densidades de queimadas em unidades de grade no Brasil e no estado de Minas Gerais em Setembro de 2003. Focos de calor detectados através do satélite NOAA 12 às 21:00 TMG.

Fonte: DAS/INPE (2006)

Durante este período ocorreu a presença de dois sistemas frontais sobre o estado, entre os dias 12 e 16/09, que foi indicado pelo modelo registrando áreas de muito baixo (2 e 3) e baixo (4) Índice de Haines (Figura 6). O dia de menor ocorrência de queimadas foi 02/09/2003, com 13

focos em todo o estado, e em 13/09/2003 ocorreu a maior incidência, 161 focos durante a primeira quinzena do mês, totalizando 1.021 queimadas em todo o estado.

Analisando-se a média espacial da distribuição do Índice de Haines para o estado de Minas Gerais entre os dias 01 e 15, verificou-se que na região norte da mesorregião de Jequitinhonha e praticamente toda a mesorregião de Mucuri o modelo indicou o Índice de Haines com valores muito baixo e baixo (2 e 3). No sul e leste do estado o modelo indicou valores de baixos riscos (4). Na faixa central do estado os valores ficaram em moderado risco (5) e na faixa norte do Triângulo Mineiro, Central Mineira, Noroeste e centro-oeste da mesorregião do norte de Minas Gerais o modelo indicou valores de alto risco (6) (Figura 7).

A segunda quinzena foi o período mais crítico, pois o número de queimadas aumentou consideravelmente, e o modelo acompanhou o desenvolvimento, sendo que os dias mais críticos ficaram entre os dias 22 e 28/09 (Figura 8, Tabela 1).

O modelo indicou áreas de alto risco na faixa centro-oeste do estado. No dia 25/09/2003, o modelo indicou o dia mais crítico, em praticamente todo o estado havia valores de alto risco de desenvolvimento de queimadas,

IH (6), com valores registrados pelos satélites NOAA-12 e 16, totalizando 920 focos de calor neste dia.

Durante este período ocorreu a presença de dois sistemas frontais sobre o estado, principalmente entre os dias 15 e 16/09, o que foi indicado pelo modelo, registrando áreas de muito baixo e baixo Índice de Haines

Tabela 2 - Distribuição de queimadas no estado de Minas Gerais em Setembro de 2003

Dia	NºQueimadas	Dia	NºQueimadas
1	17	16	84
2	13	17	61
3	50	18	130
4	75	19	77
5	76	20	12
6	32	21	63
7	76	22	429
8	32	23	224
9	30	24	867
10	127	25	920
11	34	26	155
12	46	27	329
13	161	28	60
14	38	29	13
15	214	30	13

Fonte DAS/INPE/NOAA-12 e 16.

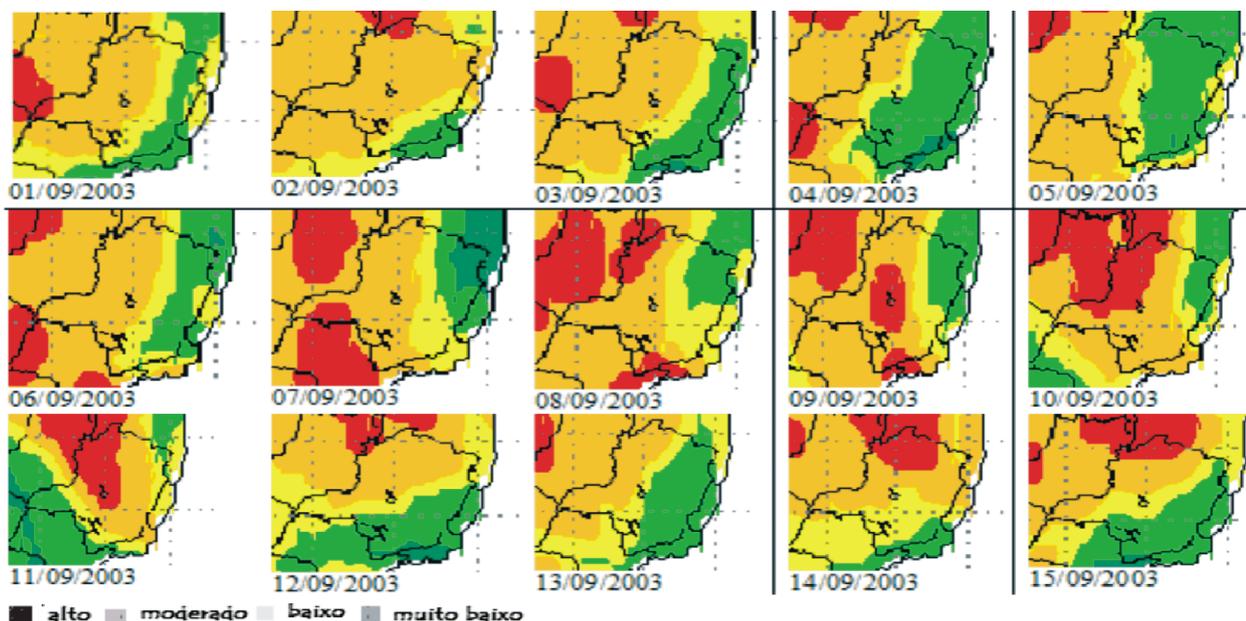


Figura 6 - Evolução diária do Índice de Haines entre 01 a 15 de setembro de 2003, sobre o estado de Minas Gerais da análise da média atmosférica.

Fonte: Lemos (2006).

no centro-leste do estado. Somente na região do Norte de Minas registraram-se valores de moderados riscos (5) de desenvolvimento de queimadas do IH (Figura 8 e Tabela 2). Totalizaram-se 3.437 queimadas em todo o estado, com um aumento de 336% em relação à primeira quinzena. A média de queimadas por dia no estado foi de 149 focos.

Analisando-se a média espacial da distribuição do Índice de Haines para o estado de Minas Gerais entre os dias 16 e 30, verificou-se que na região norte da mesorregião de Jequitinhonha e praticamente toda a mesorregião de Mucuri o modelo indicou o Índice de Haines com valores muito baixo e baixo IH (2 e 3) (Figura 9).

No centro-leste da mesorregião do Rio Doce, faixa central da mesorregião de Jequitinhonha e extremo nordeste da mesorregião norte de Minas Gerais, os valores ficaram em moderado risco (5) e no restante do estado de Minas Gerais o modelo indicou valores de alto risco (6) (Figura 9).

### 3.5. Reanálise do Mês de Setembro

Com a variação de espaço na magnitude do gradiente vertical entre 950 hPa e 850 hPa sobre o estado de Minas Gerais, o Índice de Haines na média atmosfera indicou as seguintes mesorregiões: As mesorregiões indicadas pelo modelo em alto risco foram o Triângulo

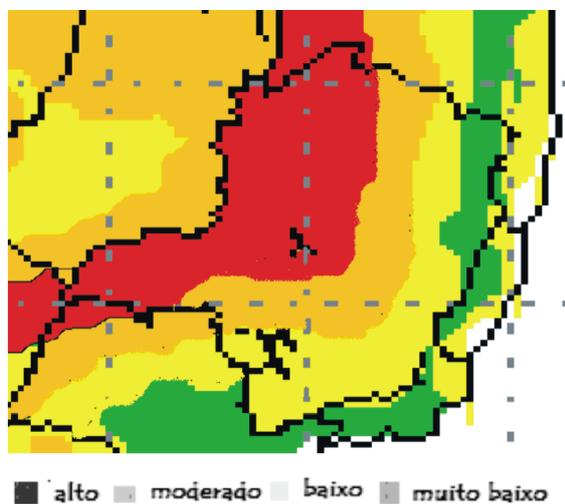


Figura 7 - Média espacial da distribuição do Índice de Haines entre 1º e 15 de setembro de 2003.

Fonte: Lemos (2006).

Mineiro, nordeste do sul de Minas, oeste das mesorregiões do oeste de Minas e da região central e oeste da região norte de Minas. As diferenças de temperaturas variaram entre a superfície e 850 hPa entre 6°C a 13°C na média atmosfera, levando valores de alto IH (6).

Observou-se que na média atmosfera do mês de setembro o modelo indicou uma faixa na região central do estado com IH moderado (5). No centro-leste do estado o modelo indicou valores no patamar de baixo (4) IH.

A área mais crítica em que o modelo indicou altos valores do IH do mês de setembro da reanálise de 30 anos entre 1968 a 1996 foi o centro-oeste de Minas Gerais, principalmente no Triângulo Mineiro (Figura 10).

Durante este trimestre, nos médios níveis ocorre um “Anel 6”, na região central do Brasil, com maior intensidade durante o período de segunda quinzena de agosto a primeira quinzena de setembro. Esta representação de “Anel 6” é uma área circular que foi indicada pelo Modelo sobre toda a região central do País, no qual sua periferia está indicada no centro-oeste de Minas Gerais e principalmente no Triângulo Mineiro - MG (Lemos, 2006).

Assim, as diferenças de temperaturas indicadas pelo modelo variaram entre a superfície e 850 hPa entre 6°C a valores superiores a 13°C na média atmosfera. A frequência destes valores permanece durante todo este período caracterizado pelo “Anel 6”. Durante todo o período na alta atmosfera os índices de Haines permaneceram muito baixos em todo o país, com Índice de Haines de 2 e 3.

O escoamento atmosférico médio à superfície sobre a América do Sul e Oceanos circunvizinhos mostra a presença dos Anticiclones Semiestacionários do Atlântico Sul e do Pacífico Sul, responsáveis, em grande parte, pelas condições de tempo sobre o Continente Sul Americano, uma vez que exercem influência destacável na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. Suas posições e intensidade modificam-se ligeiramente entre os períodos de verão e o inverno (Lemos, 2006). O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima do Brasil. Durante estes meses (agosto,

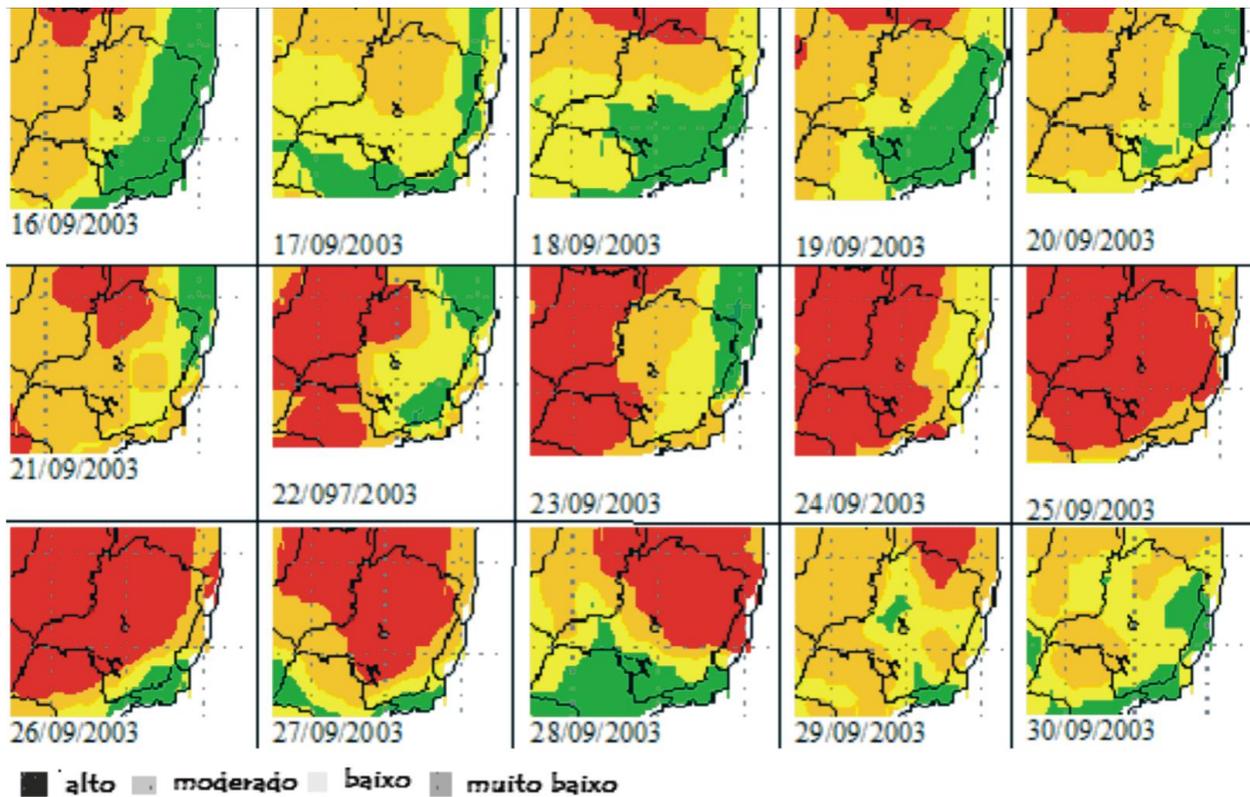


Figura 8 - Evolução diária do Índice de Haines entre 16 a 30 de setembro de 2003, sobre o estado de Minas Gerais da análise da média atmosférica.

Fonte: Lemos (2006).

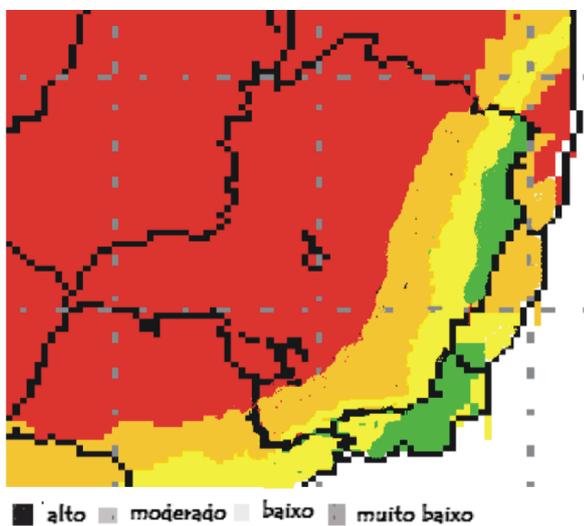


Figura 9 - Média espacial da distribuição do Índice de Haines entre 16 e 30 de setembro de 2003.

Fonte: Lemos (2006).

setembro e outubro), o Anticiclone Semiacionário do Atlântico Sul inibe a formação de nuvens sobre a região em que está atuando causando subsidência, deixando a região, em questão, com céu claro com poucas nuvens, os ventos sopram do seu centro para a sua extremidade e seu centro possui pressões atmosféricas superiores às suas extremidades (Lemos, 2000).

Durante este período, este sistema reinicia o deslocamento para leste, isto é, na direção do Atlântico, cuja periferia encontra-se sobre a região central do Brasil favorecendo a ligeira pequena intensificação dos ventos sobre esta região e áreas; com isto, os Índices de Haines durante este período indicam valores de moderado (5) a alto (6) em toda a periferia deste sistema, principalmente na face oeste da Alta Subtropical do Atlântico (AAS) que está atuando sobre o centro-oeste do estado de Minas Gerais.

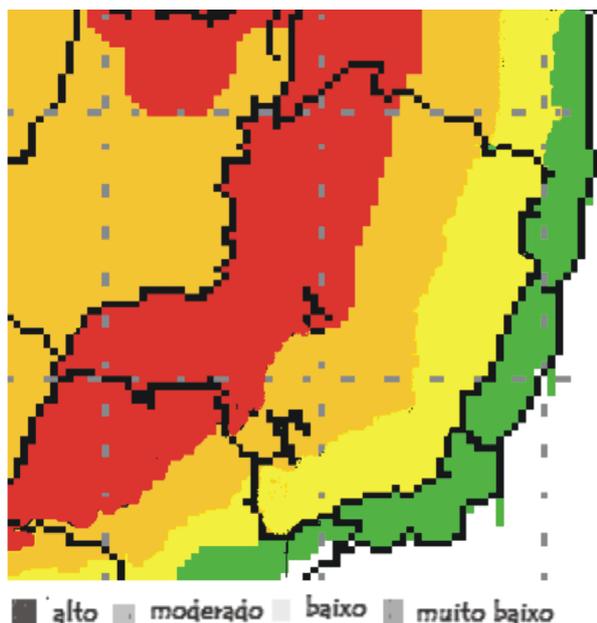


Figura 10 - Média da reanálise do mês de setembro do Índice de Haines.

Fonte: Lemos (2006).

### 3.6. Análise gráfica comparativa do número de queimadas ocorridas com áreas indicadas pelo Índice de Haines em porcentagem (%) sobre o estado de Minas Gerais em setembro de 2003

Verificamos que durante todo o mês de setembro o modelo indicou áreas de moderado risco no estado, para os dias 06 e 11/09, dias 14 e 15/09, e entre os dias 21 e 29/09 o modelo indicou altos riscos de desenvolvimento de queimadas.

Na análise da média atmosfera entre os níveis de 850 hPa e 700 hPa sobre as áreas de moderado risco (5), a diferença de temperatura obteve valores acima de 4°C para o índice de estabilidade e valores acima de 6°C para a depressão psicrométrica (Porter, 2001).

No campo da análise destacou-se o dia 25/09/2003, pois verificamos que o modelo indicou que 95% do estado estaria em condições de altos riscos de desenvolvimento de queimadas, IH (6), e foi justamente o dia em que ocorreu a maior incidência de queimadas no estado, com 920 pontos de focos de calor (queimadas) detectados pelo satélite NOAA-12 e 16 (Figuras 8 e 11).

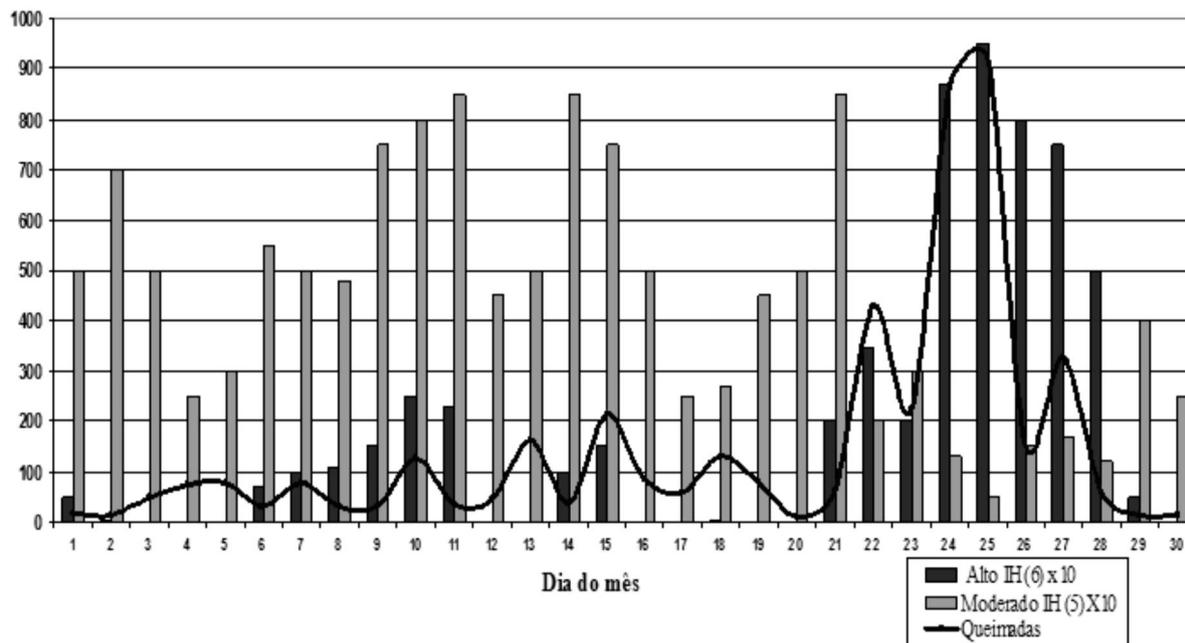


Figura 11 - Número total diário de queimadas no Estado de Minas Gerais associado à porcentagem (%) de áreas indicadas pelo modelo com valores de moderado (5) e alto Índice de Haines (6).

Fonte: INPE/DAS/NOAA -12 e 16 (Lemos, 2006).



#### 4. CONCLUSÕES

Nas análises aqui apresentadas, as linhas de corrente e dos Índices de Haines (IH) representaram resultados satisfatórios e objetivos em indicar as áreas mais críticas e favoráveis ao desenvolvimento de queimadas no estado de Minas Gerais associadas à climatologia.

O mês de setembro é o mais crítico no desenvolvimento de queimadas e de altas concentrações de valores dos Índices de Haines (IH), principalmente em sua segunda quinzena. Os mapas indicaram altos valores entre os dias 22 e 28/09, quando o número de queimadas aumentou consideravelmente; o modelo acompanhou o desenvolvimento, principalmente sobre a mesorregião do Rio Doce, Mucuri e Jequitinhonha (Figura 11).

Verificou-se que sobre estas áreas de altos riscos as diferenças de temperaturas médias obtiveram valores acima de 11°C para os índices de estabilidades, e valores acima de 13°C para as depressões psicrométricas.

O dia 25/09/2003 foi considerado o dia mais crítico deste mês. O modelo indicou 95% das áreas do estado com índice de Haines (6) com altos riscos de desenvolvimento de queimadas. Paralelamente ocorreu o maior número de queimadas com 920 casos (Figura 11).

Analisando-se a evolução diária dos focos de calor entre os anos de 1995 e 2002, (dados disponíveis sobre o Brasil - INPE/DAS) confirmou-se que o período mais crítico foi considerado o mês de setembro, confirmado pelo modelo e pelos Índices de Haines apresentados neste estudo.

As análises revelaram variações significativas nas características climatológicas do índice de Haines entre as camadas e dentro das três camadas variantes de elevação.

Adicionalmente, são vistas como variações intra- anuais importantes para um determinado local. Estas variações oscilaram na média esperada, associada à climatologia do Brasil, pois o modelo indicou que o mês de setembro seria o mais crítico do ano em relação à propagação de queimadas.

Os cálculos modelares acompanharam a evolução e a oscilação comportamental geral das queimadas no decorrer do mês, principalmente quando aumenta o

número de queimadas no estado na segunda quinzena do mês.

Finalmente, a análise diária da média atmosfera do Índice de Haines indicou as áreas mais críticas a serem gerenciadas através do Índice de Haines, o centro-oeste e o nordeste do Estado, que auxiliará como linha base de avaliações históricas e mudanças futuras no potencial de distribuição das queimadas no estado, direcionando estas necessidades para o gerenciamento e monitoramento, principalmente no controle das queimadas.

Os dados estatísticos demonstraram que o número total diário de queimadas no estado de Minas Gerais associado à porcentagem (%) de áreas indicadas pelo modelo com valores de moderado (5) e alto Índice de Haines (6) acompanharam o desenvolvimento das queimadas, principalmente na segunda quinzena do mês.

O modelo indicou localidades consideradas importantes para o uso operacional do Índice de Haines. As análises demonstraram características substanciais das variações climatológicas do Índice de Haines na média atmosfera.

Assim, este estudo teve como objetivo validar o modelo e indicar o mês de setembro de 2003, o dia e as áreas mais críticas de alto e moderados riscos de queimadas. Em um histórico climatológico modelar associadas às condições gerais da atmosfera com o período de maior frequência de queimadas no Estado de Minas Gerais.

#### 5. LITERATURA CITADA

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; SILVA, E. et al. **Uso do Fogo na Amazônia: Estudos de Caso ao Longo do Arco de Desmatamento**. World Bank Report. Brasília, March, 1997.

BRIAN, D. “GRADS Software: The Grid Analysis and Display System”, v 1.5.1.12, University of East Anglia, Norwich, UK, 1995

KOCHTUBAJDA, B.; FLANNIGAN, M.D.; GYAKYUM, J.R. et al. The influence of atmospheric instability on fire behaviour in the Northwest Territories, McGill University, Montreal, PQ, **Canada** Fourth Symposium on Fire and Forest Meteorology Meeting, November, 2001.



BROTAK, E.A.; REIFSNYDER, W.E. Predicting major wildfire occurrence. **Fire Management Notes**, v.38, p.5-8, 1977.

CLIMANÁLISE – **Boletim de Monitoramento de Tempo e Clima - INPE/CPTEC**- periódicos entre maio a novembro, seção queimadas, seção climatologia, 2002 e 2003.

CONFALONIERI; ULISSES, E.C. **Global environmental change and health in Brazil: review of the present situation and proposal for indicators for monitoring these effects** in: Hogan, H.J and M.T. Tolmasquim. Human Dimensions of Global Environmental Change – Brazilian Perspectives. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2001.

FAO. State of the World's Forests: 2001. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2001.

HAINES, D.A. A lower atmospheric severity index for wildland fires. **Natl. Wea. Dig.**, 13, p.23-27, 1988.

HAINES, D.A.; FROST, J.S. **Fire-weather stations Maintaining accuracy**, v.47, n.4, p.16-19, 1987.

HAINES, D.A.; WERTH J. Haines Index climatology for the Western USA – **Western Region Technical Attachment No, p.97-17, 1997.**

INMET – **Normais Climatológicas do Brasil** – Brasília – 1991.

IPCC – INTER-GOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Genebra, Suíça, 2001.

LEMOS, C.F. “**O Índice de Haines com indicador de desenvolvimento de focos de calor no Brasil através do modelo Regional “Eta”**”. (Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental). Niterói, RJ: UFF, 2006. 153p.

LEMOS, C.F. **Caracterização e variabilidade climática do Vale do Paraíba – SP**, (Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais). Taubaté, SP: UNITAU, 2000. 121p.

NOAA - National Oceanic Atmospheric Agency. In: ([www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html)), 2006.

ROSENFELD, D. TRMM. Observed First Direct Evidence of Smoke from Forest Fires Inhibiting Rainfall. **Geophys. Res. Let.**, v.26, p.3105-3108, 1999.

SETZER, A.W.; PEREIRA, M.C.; PEREIRA JR, A.C. Satellite studies of biomass burning in Amazonia some practical aspects, **Remote Sensing Reviews**, v.10, p.91-103, 1994.

**Stern Review Report on the Economics of Climate Change**, 2006. In: [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm)

WERTH, J.; WERTH, P. Haines Index climatology for the western United States. **Fire Management Notes**, v.58, p.8-17, 1998.

