

Desempenho do Modelo CATT-BRAMS em Simulações de Transporte de Poluentes Emitidos por Incêndios Florestais.

A. M. Ramos^(1,2), S. Freitas⁽³⁾, F. C. Conde^(1,2), K. Longo⁽³⁾, A. M. Silva⁽¹⁾, E. W. M. Lucas⁽²⁾,
P. S. Lucio^(1,4)

⁽¹⁾ Centro de Geofísica de Évora (CGE) – Universidade de Évora. Rua Romão Ramalho, 59.
7000-671. Évora, Portugal, andreara@uevora.pt

⁽²⁾ Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Eixo Monumental, Via S1, 70680-900.
Distrito Federal, Brasília, Brasil, andrea.amos@inmet.gov.br.

⁽³⁾ CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Brasil.

⁽⁴⁾ Departamento de Estatística – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

RESUMO

O objectivo deste trabalho foi avaliar o comportamento do modelo CATT-BRAMS para o transporte atmosférico do monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM_{2.5}) emitidos por queimadas diante de uma situação considerada normal (2002) em relação aos incêndios que ocorreram em 2003, considerada uma das mais intensas temporadas de incêndio durante as últimas décadas. As condições iniciais e de contorno foram feitas utilizando as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Centers for Environmental Prediction Global Spectral Model) e com a assimilação dos dados de fogos derivados a partir dos produtos MODIS/AQUA para a Europa, com o objectivo de identificar as posições das emissões. O termo fonte associado à emissão urbana e tecnológica é prescrito seguindo a base de dados EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research), enquanto que para emissões de queimadas, segue o procedimento descrito em Freitas (1999). O experimento foi realizado numa malha com resolução horizontal de 20 km, centrada em Lisboa (38.8°N; 9.28°W). Os resultados indicam que o modelo pode ser uma boa ferramenta para descrever a circulação atmosférica caracterizando as condições meteorológicas que influenciaram o padrão de exportação dos poluentes.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the behaviour of the CATT-BRAMS model for the atmospheric transport of the carbon monoxide (CO) and particulate matter (PM_{2.5}) emitted by burning due to a situation considered normal (2002) in relation to the fires that happened in 2003, considered one of the most intense fire seasons during the last decade.. The initial and lateral boundary conditions were provided by the analyses of the global model AVN/NCEP (Aviation run of the National Centers Environmental Global Prediction Spectral Model) and the assimilation of fire data derived from the products MODIS/AQUA to Europe, with the objective of identifying the emissions location. The term source associated to the urban and technological emission is prescribed following the EDGAR (Emission Database is Global Atmospheric Research). The simulations were realized in a coarse grid resolution with 20 km grid spacing. The results show that the model can be used as a useful tool to describe the atmospheric circulation reproducing the meteorological conditions that influenced the pollution transport.

Palavras-chave: simulação numérica, fogos florestais, transporte de poluentes, padrões sinópticos.

Keywords: numeric simulation, forest fires, synoptical patterns, long-distance transport.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo verificar a performance das opções e parametrizações do modelo CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) no conjunto de

simulações numéricas em dois eventos distintos para analisar o transporte e dispersão de poluentes atmosféricos inertes emitidos pelos incêndios florestais. Os períodos correspondem aos Verões de 2002, considerado dentro de um padrão normal, e o de 2003, caracterizado por uma padrão anormal, de acordo com o relatório da Comunidade Europeia. Os

resultados das simulações numéricas correspondem de 07 a 09 de Agosto de 2002 e 2003, período em que houve incêndios registados em diversas regiões do território. Os resultados serão descritos da seguinte forma: primeiramente será apresentado a descrição dos incêndios que ocorreram durante os eventos seleccionados, a situação sinóptica associada que condicionou o deslocamento da pluma resultante dos incêndios e em seguida, os resultados referentes as simulações numéricas para a pluma de fumaça do monóxido de carbono (CO) e do material particulado (PM_{2,5}), assim como a evolução temporal com a altura nos distritos mais afectados pelos incêndios e por fim, será apresentado as conclusões referentes a este trabalho.

1.1. DESCRIÇÃO DOS INCÊNDIOS

Verão de 2002: Conforme o relatório da Comunidade Europeia (EC), 2002 foi considerado normal quando comparado com a última década. As condições meteorológicas na região mediterrânea foram favoráveis durante o Verão devido a chuvas frequentes que ajudaram a conter os fogos na sua fase inicial e a expansão dos mesmos. A área ardida total registada na região mediterrânea da União Europeia (EU) em 2002 foi abaixo da média durante os últimos 23 anos e o número de fogos foi abaixo da média durante a última década com 87% dos fogos aconteceram na Espanha e Portugal.

Segundo o relatório da Direcção Geral de Florestas – Divisão de Protecção e Conservação Florestal (DGF/DPCF) Portugal Continental em 2002, registou um decréscimo do número de ocorrências de fogos face ao ano anterior, contabilizado 26.488 número total de ocorrências, apontando para um valor inferior ao valor médio dos últimos 5 anos (28.940). A área ardida total apurada foi de 124.411 ha, dos quais 52% (65.546 ha) correspondem a povoamentos florestais.

No distrito de Castelo Branco verificou-se o maior valor de área ardida em povoamentos com 23% do total e em relação a área ardia em matos, apesar do acentuado decréscimo face ao valor médio dos últimos 5 anos, Guarda apresentou 17% do valor total, seguido pelos distritos Vila Real, Viseu e Bragança (figura 1a). Os distritos de Lisboa, Porto e Braga apresentaram o maior número de ocorrências, enquanto que Évora e Portalegre registaram o menor número (ver figura 1b).

Em relação a natureza da propriedade, a área ardida verificada afectou maioritariamente a área privada (109.101 ha - 88%). No entanto, constata-se que do total da área ardida pública, 60% (9.238 ha) foram de povoamentos, valor este que se encontra maioritariamente localizado na região de Trás-os-Montes, com 60% do total. Em relação a variação temporal de ocorrências de incêndios e área ardida, houve uma concentração elevada dos valores nos meses de Julho e Agosto, representando 86% do

total.

Verão de 2003: Considerada uma das mais intensas temporadas de incêndio durante as últimas décadas no sudoeste da Europa. Foram registados no total, 740.379 ha de área ardida e 54.741 ha para o número de fogos, com cerca de 72% dos fogos ocorreram em Portugal e Espanha, resultando em aproximadamente 77% da área total ardida na região mediterrânea. Ressalta-se ainda que em Portugal, os incêndios florestais ultrapassaram a média dos últimos 23 anos, com uma área total ardida de quase 5 vezes maior que os anos anteriores, afectando áreas de reservas naturais, além de regiões próximas as áreas urbanas (relatório da CE).

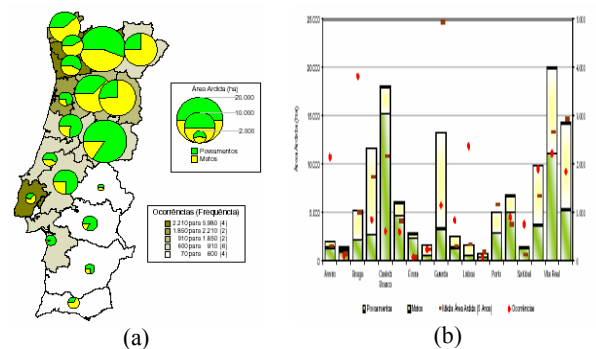


Figura 1: (a) distribuição distrital por regiões e o número de ocorrência de incêndios e área ardida por distrito em Portugal (b), destacando área ardia em matos (amarelo) e povoamentos (verde) além da frequência de incêndios florestais (Fonte: DGF/DPCF).

Segundo a DGF – DPCF em Portugal Continental os distritos mais afectados (figura 2a) foram Castelo Branco (90.226 ha, - 21%), Portalegre (69.348 ha - 16%), Santarém (65.785 ha - 15%) e Faro (59.090 ha - 14%). Foram contabilizados 4.671 incêndios florestais e 15.042 fogachos (incêndio cuja área total ardida é inferior a 1 ha). O maior número de incêndios florestais (área >= 1 ha) aconteceu nos distritos de Guarda (695), Viseu (518) e Braga (505), região caracterizada por uma grande densidade de população em áreas florestais, associada com pequenas propriedades.

Relativamente aos fogachos, os valores mais elevados verificam-se nos distritos de Porto (3.490 - 23%) e Braga (2.046 - 14%). Consequentemente, a região do Entre Douro e Minho foi a mais afectada quer em número de incêndios quer de fogachos, representando 43% do número total de ocorrências. Analisando a distribuição mensal constata-se que Agosto (figura 2b) apresentou os maiores valores de área ardida com 280.550 ha (66%), ou seja, cerca de 2,7 vezes superior ao valor médio anual dos últimos 10 anos (104.116 ha). Verificaram-se 85 incêndios com área superior ou igual a 500 ha que no seu conjunto foram responsáveis por 86% (365.676 ha) do total de área ardida, dos quais 69% são de povoamentos florestais. Destes, 65 ocorreram precisamente durante Agosto.

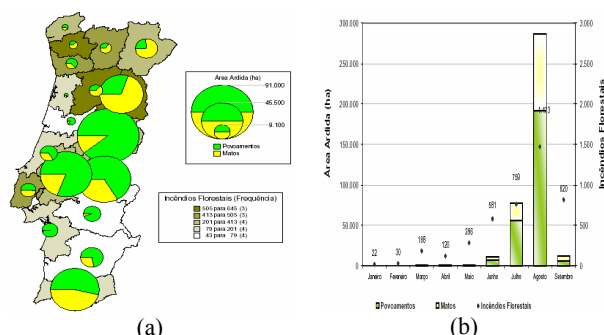


Figura 2: distribuições distrital (a) e mensal (b) dos incêndios em Portugal, destacando área ardia em matos (amarelo) e povoamentos (verde) além da frequência de incêndios florestais (Fonte: DGF/DPCF).

2. DESCRIÇÃO DO MODELO CATT-BRAMS

O modelo atmosférico CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) é um modelo 3D euleriano que prognostica a concentração de contaminantes atmosféricos de forma simultânea e consistente com o estado atmosférico simulado pelo RAMS/BRAMS. A principal vantagem deste é permitir ter o prognóstico simultâneo do estado atmosférico, dos pontos de vista meteorológico e da qualidade do ar e o estudo da interacção ou da retro-alimentação entre o contaminante e a própria atmosfera (como no caso dos aerossóis libertados em incêndios e do seu forçamento radiativo).

Uma descrição pormenorizada das parametrizações, dos processos de remoção húmida (dentro e abaixo da nuvem) e do modelo de emissão utilizado na estimativa das emissões de poluentes em função da localização dos focos de queimadas detectados via detecção remota, podem ser encontrado em Freitas, 1999, Freitas et al., 2000 e 2005. A emissão é parametrizada em função do factor de combustão, que fornece a percentagem de biomassa efectivamente queimada; da fracção de biomassa acima do solo; do factor de emissão da espécie, que indica a quantidade total de combinações genéricas emitidas em termos do total de biomassa consumida para um dado tipo de vegetação. Para emissões de incêndios, o procedimento combina a assimilação de produtos de detecção de focos de calor por detecção remota com dados observados de emissão por combustão de biomassa. Para cada fogo detectado por detecção remota, a massa de emissão do traçador é calculada e sua emissão no modelo segue o ciclo diurno da queima.

Do ponto de vista da dinâmica, o modelo resolve a seguinte equação para o prognóstico da razão de mistura s ($=\rho/\rho_{ar}$) do traçador:

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{adv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{PBL\ turb} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{shallow\ conv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)_{deep\ conv} + W + R + Q, \quad (1)$$

os símbolos significam: $(\partial s/\partial t)$, a tendência local; *adv*, a contribuição devido a advecção na escala da malha; *PBL turb*, transporte turbulento de sub-malha na camada limite planetária (CLP); *deep conv*, transporte de sub-malha associado às circulações convectivas húmidas e profundas; *shallow conv*, transporte de sub-malha associado às circulações convectivas húmidas e rasas (não-precipitantes); *W*, deposição húmida de material solúvel; *R*, termo sumidouro associado à deposição seca e/ou transformação química; *Q*, o termo fonte associado às emissões. Para este trabalho o procedimento utilizou os mapas de incêndios observados pelo sensor MODIS (*MODerate – resolution Imaging Spectroradiometer*) para implementar a posição da emissão e dos números de focos de incêndios que ocorreram na Europa.

O registo da fonte de emissão dos fogos que aconteceram na Europa foi obtido com a assimilação dos dados de fogos derivados a partir de medidas do MODIS e das posições geográficas dos incêndios, combinado com a estimativa de área ardida em campos observados de combustão e factores de emissão. Os dados utilizados foram obtidos a partir das informações de área ardida fornecida nos relatórios da Direcção Geral das Florestas (DGF) e da Comunidade Europeia (EU). Para obter a área queimada por fogo, foi dividido a área queimada pelo número de focos. Assim as emissões foram construídas para cada dia e assimiladas ao longo da simulação.

2.1. Dados e características das simulações

Com o objectivo de analisar o transporte de plumas provenientes de emissões de incêndios foram colectas informações meteorológicas relevantes para o período de Agosto de 2002 e 2003. Para a caracterização das condições iniciais e de contorno necessários para simulações com CATT-BRAMS foram usadas as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model) com resolução de aproximadamente $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ e intervalo temporal de 6 horas (00:00, 06:00, 12:00 e 18:00UTC). Foram gerados ficheiros com as seguintes resoluções de malha: latitude de $20^\circ N$ - $60^\circ N$ e longitude de $30^\circ W$ - $40^\circ E$. As principais opções e parametrizações para as simulações de 2002 e 2003 são descritos na tabela 1.

Características	Malha
Instante inicial	2002: 00 UTC 01/08/2002 – 2003: 00 UTC 01/08/2003
Instante final	2002: 18 UTC 31/08/2002 – 2003: 18 UTC 31/08/2003
Resolução horizontal	20 Km
Centro da malha	Lisboa ($38,8^\circ N$; $9,28^\circ W$)
Estrutura da malha	Malha C de Arakawa (Messinger e Arakawa,

	1976)
Esquema numérico	Híbrido (Tremback et al., 1987)
Coord. horizontais	Polar Estereográfica
Coordenadas verticais	Sistema de coordenadas sigma-z, (Gal-Chen e Somerville (1975), Clark (1977) e Tripoli e Cotton (1982) citados por Walko e Tremback (2001)).
Níveis de solo	7 níveis - 45% de saturação para todas as camadas (Tremback e Kessler, 1985).
Ficheiro de topografia	United States Geological Survey (USGS) com resolução de 1km
Esquema de topografia	Silhueta média (Bossert, 1990)
Ficheiro de TSM	TSM climatológica do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) com resolução de 1°
Ficheiro de uso e textura do solo	United States Geological Survey (USGS) com resolução de 1 km
Parâmetros de ocupação do solo (vegetação, construção, represas, ect.)	(Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR) com resolução de 1km
Esquema de inicialização da vegetação	International Geosphere Biosphere Programme (IGBP) com resolução de 1 km
Parametrização da vegetação	McCumber e Pielke (1981), Avissar e Mahrer (1988); Lee (1992)
Parametrização da radiação	Chen e Cotton, 1983
Parametrização de cumulus rasos e profundos	Grell e Devenyi (2002)
Difusão turbulenta	Deformação na horizontal, Mellor e Yamada (1974) na vertical
Parametrização da microfísica	Nível máximo (3): activa todas as mudanças de fases da água (vapor, líquido e sólida) e todos os tipos de hidrometeoros (Walko et al., 1995).
Emissão do CO associados a processos antropogénicos	Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR, Olivier, 2002)

Tabela 1: Características e opções do modelo BRAMS utilizadas nas simulações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DURANTE O PERÍODO

2002: O estado do tempo em Agosto foi condicionado, de uma maneira geral, pela acção de massas de ar transportadas na circulação de

anticlones localizados no Oceano Atlântico a oeste da Península Ibérica (PI) como pode ser observado no fluxo médio do vento em 1000hPa (figura 3a), com o mesmo padrão observado em 850 hPa. Em 500 hPa (figura 3b), verifica-se que há fraca actuação do anticiclone de Açores, posicionado mais a sul do Oceano Atlântico (em torno de 35°N), permitindo a influência de um ciclone sobre Portugal Continental, proporcionando vento praticamente de Oeste e desta forma, favorecendo o registo de precipitações em Portugal Continental, que foi considerado chuvoso a extremamente chuvoso em regiões como Vila Real, Penhas Douradas (Serra da Estrela), Évora e Elvas. Os valores de temperatura máxima e mínima registaram uma tendência abaixo dos valores normais (Instituto de Meteorologia (IM)).

O campo de anomalia da pressão ao nível médio do mar (PNMN) apresenta anomalia positiva nos sectores central e mediterrânea do continente europeu, além de um núcleo máximo em 75°N (figura 3c). Anomalia positiva é verificada em toda a costa da Europa, abrangendo todo o Oceano Atlântico, inclusive o sector nordeste da Africa. O campo de humidade relativa (figura 3d) mostrou anomalias ligeiramente negativas em toda a extensão do Oceano Atlântico com um núcleo máximo na parte oriental da Europa, no restante do continente, o campo apresentou uma anomalia positiva com máximo sector mediterrâneo.

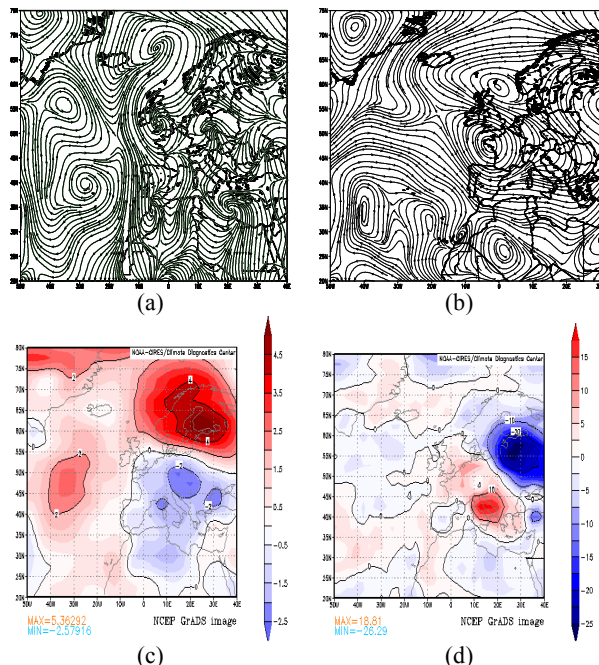


Figura 3: Linhas de correntes médio em 1000 hPa (a) e 500 hPa (b), campos das anomalias para a temperatura em 1000 hPa (c); pressão atmosférica ao nível médio do mar (c) e humidade relativa (d) em 1000 hPa.

2003: O Verão de 2003 consubstanciadas em altas temperaturas em torno de 40° C, humidades relativas muito baixas, bem como ventos instáveis predominantemente de leste seguindo um longo

período de falta de precipitação na região. Estas condições prevaleceram ao longo de muitos dias em função de uma situação sinóptica de larga escala denominado por bloqueio anticiclónico, estabelecendo uma onda de calor que favoreceu a uma simultaneidade e concentração de incêndios.

No fluxo médio do vento aos níveis de 850 (figura 4a) e 200 hPa (figura 4b) observa-se a presença de dois anticiclones, um intenso centrado em torno de 55°N e outro no Norte de África (em torno de 35°N), além de uma fraca região ciclónica na parte oeste da Península Ibérica (PI) ocidental. No flanco sul do anticiclone o vento é praticamente zonal (200 hPa) que compreende numa área longitudinal bastante considerável, com a persistência do anticiclone no Oceano Atlântico, caracterizando as condições do bloqueio anticiclónico.

A Figura 4c apresenta anomalia média positiva da temperatura em 1000hPa praticamente em todo o domínio com máximo na parte central do continente europeu e anomalia negativa na parte oriental da Europa e Norte de África. Para a pressão ao nível médio do mar (PNMM) há anomalia positiva envolvendo a área do deserto de Sahara (figura 4d) e a região mediterrânea tornando-se positivas máximas na região do centro do anticiclone.

É verificado anomalia negativa sobre o Oceano ao longo da costa da PI envolvendo o sector sul do domínio da malha, na periferia da posição do anticiclone, além da parte oriental da Europa. Em Portugal Continental o campo de anomalia da pressão em toda a sua extensão apresenta valores constantes a positivos mínimos. Este anticiclone anómalo é também observado no campo de anomalia da altura de geopotencial no nível de 500 hPa (figura 4e) sobre a forma de anomalia positiva na região, com máxima no norte e mínimo na parte sul do Oceano Atlântico.

No Norte de África e sobre o continente europeu, a anomalia apresenta valores neutros a positivos e a medida que se desloca para o Mar do Norte, Reino Unido, faixa do Oceano Atlântico, envolvendo toda a parte norte do domínio da malha torna-se anomalias positivas máximas. No campo da anomalia de humidade relativa em 1000 hPa (figura 4f) é observado um máximo negativo no centro do continente europeu diminuindo a medida que se estende ao longo do continente, com valores positivos no sector oriental e constantes no restante da região, caracterizando de uma forma geral, um ambiente com baixa humidade em praticamente todo o domínio da malha.

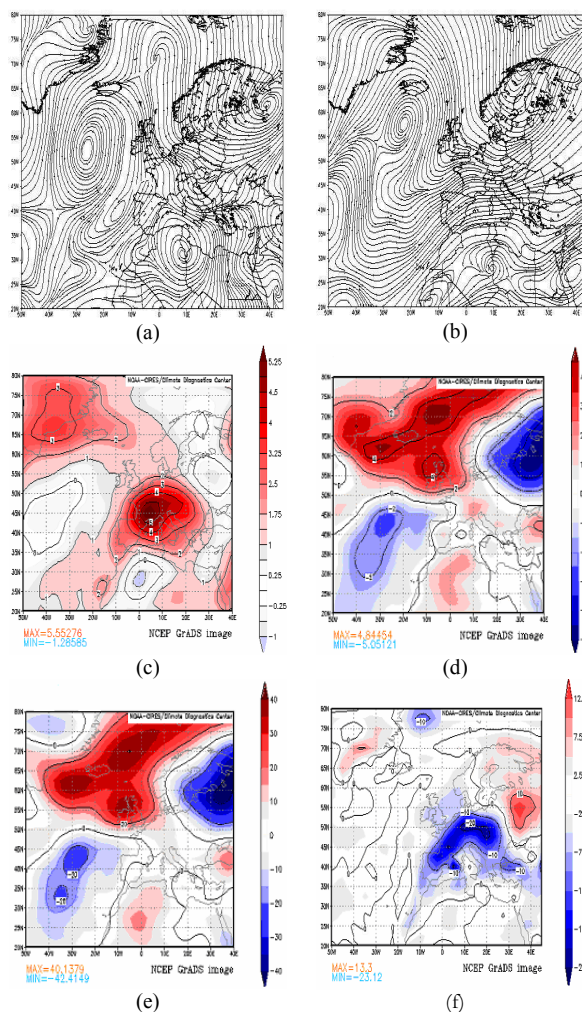


Figura 4: Linhas de correntes médio em 850 hPa (a) e 200 hPa (b), campos das anomalias para a temperatura em 1000 hPa (c) e 850 hPa (d); temperatura da superfície do mar (e), da pressão atmosférica (f) em 850 hPa, altura do geopotencial (g) em 500 hPa (g) e humidade relativa (h) em 1000 hPa para o período de 25/07 – 25/08 de 2003.

Conforme o boletim do Instituto de Meteorologia, em Portugal Continental, os últimos três dias de Julho de 2003 foram excepcionalmente quentes, com as temperaturas máximas a ultrapassar os 40°C em grande parte do território e valores elevados da temperatura mínima do ar. Os dados dos primeiros dias de Agosto demonstram que a onda de calor iniciada em 29 de Julho manteve e acentuou, tendo sido ultrapassados os máximos absolutos da temperatura máxima do ar, em algumas estações meteorológicas. Os valores observados da temperatura mínima foram particularmente altos, superiores a 25°C em grande parte do território, e mesmo superiores a 30°C. A humidade relativa do ar foi baixa, em particular no interior do País, onde em alguns locais atingiu valores inferiores a 20%.

Os primeiros 14 dias de Agosto caracterizaram-se pela persistência de valores muito elevados em torno de 40°C em 70% do território e 25°C em 60% do território da temperatura máxima e mínima, respectivamente. Neste período, em quase todo o

território a média da temperatura máxima foi superior a 32°C; e valores médios superiores a 36°C ocorreram em mais de 2/3 do território.

Ressalta ainda que, registou durante o período, elevado número de dias consecutivos com valores elevados da temperatura máxima do ar, sendo iguados ou ultrapassados a 35°C e a 40°C. Já para a temperatura mínima foram iguados ou ultrapassados os maiores valores do número de dias consecutivos com temperatura igual ou superior a 15°C, 20°C e 25°C.

3.2. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES DO TRANSPORTE DE POLUENTES EMITIDOS PELOS INCÊNDIOS

Os resultados correspondem a média de 24 horas de simulação do campo espacial da pluma de fumo do monóxido de carbono (CO) no nível de 53 metros em ppb (parte por bilião) e a 1100 metros, além do material particulado (PM_{2.5}), integrado na coluna atmosférica, expresso em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, ambos com média horária às 12:00 UTC com a sobreposição do campo do vento para o período analisado.

2002: O transporte no primeiro nível (53 m) dá-se principalmente em função da configuração sinóptica condicionada pela actuação dos anticiclones, proporcionado sobre o território português ventos de Noroeste influenciando o deslocamento da pluma de fumo que é primeiramente transportada ao longo do território português assim como a pluma originada nos incêndios em Espanha, e em seguida há um escoamento preponderante para parte sul do território atingindo o Atlântico, persistindo este deslocamentos para os demais dias (figuras 5), com diminuição dos núcleos de valores máximos sobre a Península, sendo continuamente exportado para a parte sul do domínio da malha.

Em relação ao nível de 1100 metros (figuras 6) o fluxo sobre o território português é de Nordeste no Norte e meridional no restante do país, de forma que a exportação da pluma é levemente desviada para a faixa do litoral português, mas mantêm o deslocamento para o sul, atingindo o Oceano Atlântico (figura 6a). Em 08/08/2002 (figura 6b) o fluxo praticamente meridional sobre o território proporciona áreas isentas de CO, apesar de persistir núcleos máximos no extremo sul da Península. 09/08/2002 (figura 6c) há presença atingindo todo o território com valores em torno de 20 ppb, com fluxo de Noroeste na parte Norte e meridional no restante do país, mantendo o padrão de escoamento.

Para o conteúdo de material particulado (PM_{2.5}) em 07/08/2003 (figura 7a) há concentração em praticamente todo o domínio da malha, com valores máximos observados na parte central dos territórios português e espanhol. O deslocamento da pluma, devido ao fluxo de Noroeste, se dá primeiramente para o interior da Península e então tende a ser direccionado a sul do domínio da malha, atingindo o

Oceano Atlântico. Este padrão de escoamento é também verificado para os dias 08/08/2002 e 09/08/2002 (figuras 7b e 7c), além de uma exportação da pluma para o interior do território português, originado do Norte da Espanha, porém, mantêm o padrão de exportação.

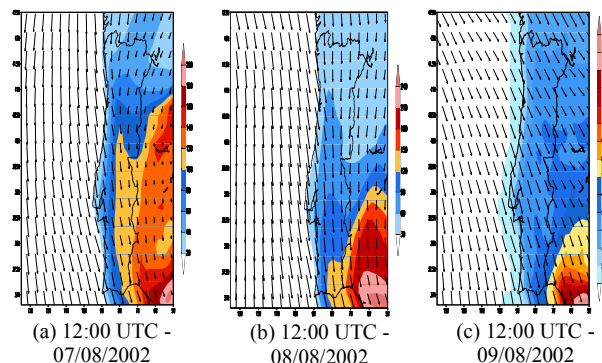


Figura 5: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS da concentração do monóxido de carbono (CO), em ppb, com sobreposição do campo de vento no nível de 53 metros para resolução de 20 km.

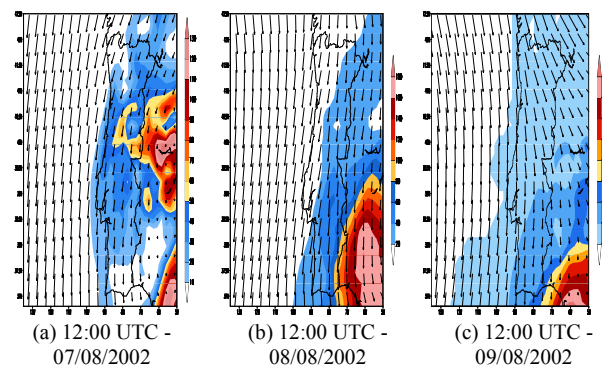


Figura 6: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS da concentração do monóxido de carbono (CO), em ppb, com sobreposição do campo de vento no nível de 1100 metros para resolução de 20 km.

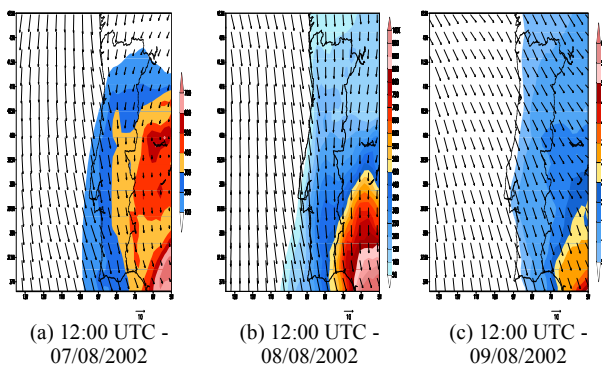


Figura 7: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do material particulado (PM_{2.5}), em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, com sobreposição do campo de vento para resolução de 20 km.

As figuras 8 apresentam a evolução temporal das concentrações simuladas de CO (em ppb) e do PM_{2.5} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) com a sobreposição do campo de vento para os distritos que foram atingidos pelos incêndios durante o período. A evolução de CO dentro da camada limite planetária mostra valores de CO para todos os horários confinados a uma altura média de aproximadamente 1.200 metros para praticamente

todos os distritos, sendo que no distrito de Vila Real atingiu altura em torno de 1600 metros. A exportação e expansão da pluma do poluente, devido às condições proporcionadas pelos movimentos da atmosfera onde a advecção pelo vento domina o transporte, arrastando o gás na direcção do fluxo e mantendo dentro da camada de mistura e em relação ao perfil da concentração de material particulado $PM_{2.5}$, integrado numa coluna atmosférica indicada pelo modelo, mostra valores máximos de em praticamente todo o período de simulação.

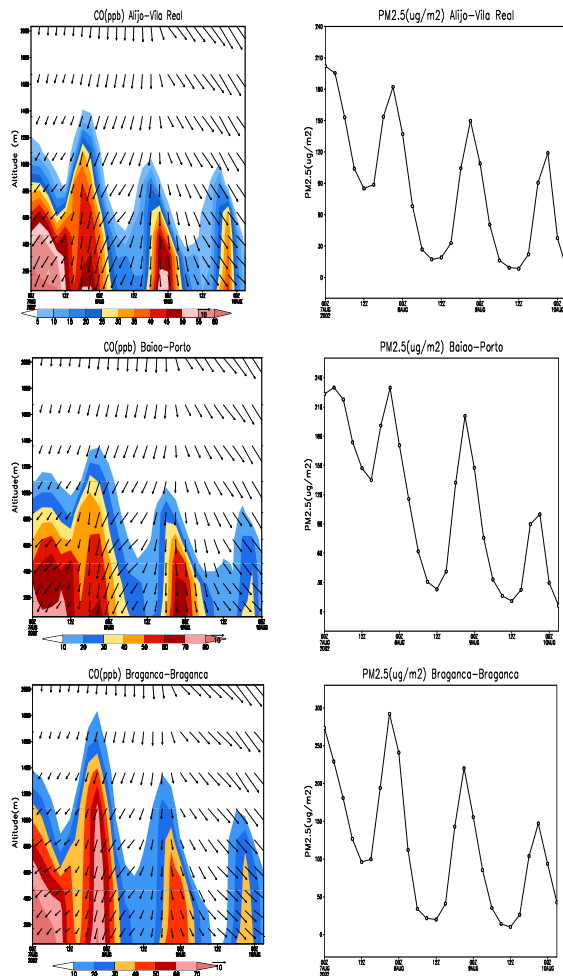


Figura 8: Evolução temporal das concentrações de monóxido de carbono (ppb) com sobreposição do campo e do material particulado $PM_{2.5}$ em $\mu g.m^{-2}$, para os distritos que foram atingidos pelos incêndios durante o período de 7 – 12/08/02.

2003: O resultado do transporte de plumas de fumaça produzidas pelos incêndios, no nível de 53 metros, foi condicionado por um campo anticiclónico com núcleos nas Ilhas Britânicas e no Açores, que associado com um vale depressionário, que se estendia do Norte de África até a Península Ibérica (PI), proporcionou zona de confluência de ventos ao longo dos continentes europeu e africano. Assim, na PI o fluxo é de Nordeste variando para Este, principalmente em Portugal, influenciando no deslocamento da pluma de fumaça que é

primeiramente transportada ao longo do território português, devido ao fluxo meridional sobre o Oceano e em seguida, há um escoamento predominante a sul do Oceano Atlântico saindo do território a partir da latitude em torno de $37^{\circ}30'N$.

Em 07/08/2003 (figura 9a) há concentração do CO principalmente nas regiões da Beira Interior e ao longo da Beira Litoral até o Alentejo e o escoamento é devido a presença dos anticiclones, confinando a pluma na zona de confluência e quando fica sobre a influência do vento meridional, o transporte se dá a sul do Oceano Atlântico.

Há concentrações de CO originadas na região da Galiza, em Espanha, onde a pluma de fumaça, em função da actuação do anticiclone, é deslocada para o interior do território português, misturando-se com a pluma existente nesta região. Em 08/08/2003 (figura 9b) a oscilação da zona de confluência do Centro ao Norte do litoral português, confina a pluma nesta região, enquanto que o restante do território tem um transporte preferencial de Este para o Oceano. Em 09/08/2003 (figura 9c) devido a oscilação da zona de confluência para o litoral português, verifica-se a formação de uma depressão próximo a região de Lisboa, sendo que o padrão de exportação da pluma é de forma, que ao Norte, tende a ser escoada para o interior do país e a partir do Centro é escoada para o Oceano.

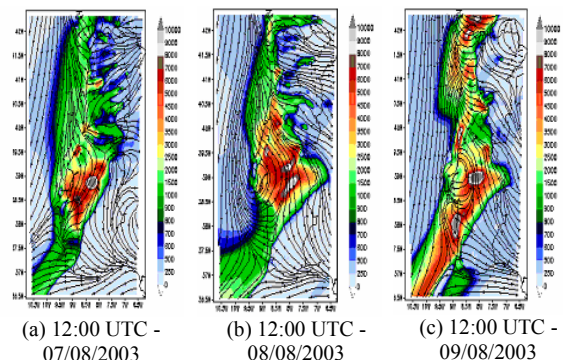


Figura 9: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do monóxido de carbono (CO), em ppb, com a sobreposição do campo do vento para resolução de 20 km.

No nível de 1.100 metros, apresenta campos anticiclónicos com núcleos nos Açores e Ilhas Britânicas devido ao desenvolvimento de depressões localizadas a oeste do continente africano e outra a norte da PI (para os eventos de 7 e 8/08/2003). Em 07/08/2003 (figura 10a) apresenta núcleos de valores máximos de CO em pontos que atingem do Norte ao Centro-Sul do país, além de focos observados na região da Galiza, em Espanha.

O escoamento mantém-se preferencialmente para o Oceano, apesar da presença de uma zona de confluência que atinge o Centro de Portugal, proporcionando um deslocamento da pluma para a região do Alentejo. Em 08/08/2003 (figura 10b) a formação de uma crista, que abrange a parte central

do país, proporciona uma faixa no sentido Nordeste-Sudoeste da pluma de fumaça, mantendo a exportação preferencial para o Atlântico. Em 09/08/2003 (figura 10c) a presença de um anticiclone no Norte de Portugal, proporcionou um fluxo de Nordeste na região e a partir do Centro-Norte o fluxo é preferencialmente de Sudeste, conservando o transporte da pluma de fumaça ao longo do Oceano com expansão a sudoeste.

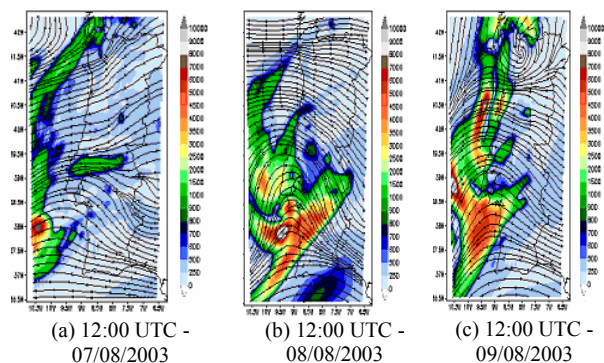


Figura 10: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do monóxido de carbono (CO), em ppb, com a sobreposição do campo do vento para resolução de 20 km.

Para o $PM_{2.5}$, a exportação é condicionada por um fluxo de Nordeste variando de Sudeste no sul do país, que associado a uma circulação fechada na região de Extremadura, proporciona um escoamento preponderante para o Atlântico em 07/08/2003 (figura 11a). O fluxo tornar-se de Sudeste no Centro-Sul do país, em função da formação de uma crista nesta região às 12:00 UTC (figura 11b) em 08/08/2003 e em 09/08/2003 (figura 11c) há formação de circulações fechadas no Norte do país, com fluxo de Sudeste ao longo do território mantendo o escoamento para o Oceano, principalmente na zona de actuação da crista.

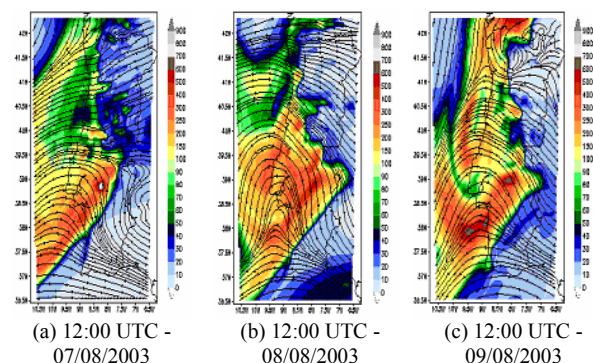


Figura 11: Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS da concentração e transporte do material particulado ($PM_{2.5}$), em $\mu g.m^{-2}$, com a sobreposição do campo do vento para resolução de 20 km.

As figuras 12 apresentam a evolução temporal das concentrações simuladas de CO, em ppb, com a sobreposição das linhas de corrente do fluxo de ar para os distritos que foram atingidos pelos incêndios durante o período de 07 – 09 de Agosto de 2003. A evolução de CO dentro da camada limite planetária

mostra valores de até 4.500 ppb confinado numa altura de aproximadamente 2.000 metros para praticamente todos distritos, excepto em Portalegre, que atingiu níveis em torno de 1.500 metros. À medida que o gás é transportado verticalmente e homogeneizado dentro da camada de mistura, decresce em intensidade. A exportação e expansão do poluente na direcção horizontal, devido a condições proporcionadas pelos fluxos de ar que domina o transporte, arrasta o gás na direcção do fluxo dentro da camada limite atmosférica, e os reacendimentos dos incêndios, podem proporcionar elevadas concentrações do poluente na atmosfera.

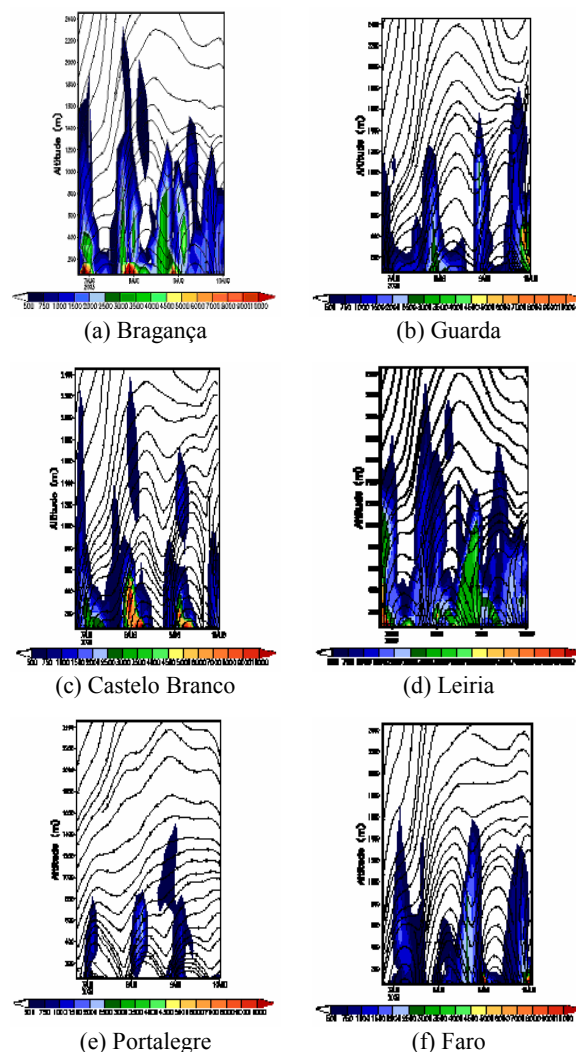


Figura 12: Campos simulados para evolução temporal da concentração de monóxido de carbono (ppb) com as linhas de corrente do fluxo do ar em altitude (metros) para os distritos que foram atingidos pelos incêndios durante o período de 7 – 9 de Agosto de 2003.

A série temporal do perfil da concentração de material particulado $P.M_{2.5}$ (figuras 13), mostram valores máximos de concentração de $950 \mu g.m^{-2}$, principalmente para o evento de 09/08/2003 e para os demais dias, apresentou oscilações de concentração, caracterizando a presença de material particulado durante todo o período.

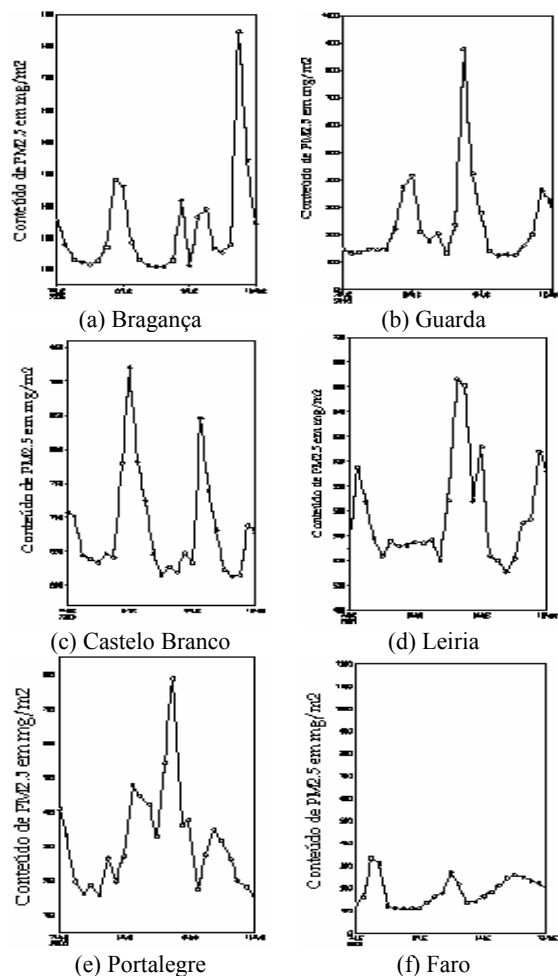


Figura 13: Campos simulados para evolução temporal dos perfis do conteúdo de material particulado $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), integrado em uma coluna atmosférica, para os distritos que foram atingidos pelos incêndios durante o período de 07 – 09 de Agosto de 2003.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objectivo estudar o transporte atmosférico e a evolução do monóxido de carbono (CO) e do material particulado ($PM_{2.5}$) emitidos pelos incêndios para a atmosfera, através da modelação numérica utilizando CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) e assim verificar a performance do modelo diante a duas situações diferentes: Para o Verão de 2002, considerado normal e o Verão de 2003, considerado anormal, segundo os relatórios da Comunidade Europeia e da Direcção Geral de Florestas – Divisão de Protecção e Conservação Florestal (DGF/DPCF). As simulações numéricas com o modelo CATT-BRAMS foram feitas utilizando como caracterização das condições iniciais e de contorno as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Centers for Environmental Prediction Global Spectral Model) com assimilação dos dados de fogos derivados a partir dos produtos MODIS/AQUA para a Europa e informações de área ardida fornecida

pela Direcção Geral das Florestas (DGF). O termo fonte associado à emissão urbana e tecnológica é prescrito seguindo a base de dados EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research). O experimento foi realizado numa malha com resolução horizontal de 20 km, centrada em Lisboa (38.8°N; 9.28°W) de forma a representar as características observadas durante o período de 07 a 09 de Agosto de 2002 e 2003. Os resultados indicam que, em relação a 2002, o modelo caracterizou a situação sinóptica estabelecida que favoreceu valores de temperatura abaixo da média e humidades amenas no território português. As regiões afectadas pelos incêndios durante o período foram concentradas mais ao Norte do país onde o modelo simulou concentrações para o período nos distritos em que houve registos de incêndios de acordo com o relatório da Direcção Geral de Florestas. Em relação a distribuição espacial dos poluentes, há máximos observados em Espanha e parte Centro de Portugal para o CO e mais ao Norte para o $PM_{2.5}$, para o evento de 7/08/2002, com escoamento preferencial para região sul da Península Ibérica (PI) atingindo o Oceano Atlântico. Já para o Verão de 2003, o transporte de plumas de fumaça foi condicionada por um campo anticiclónico com núcleos nas Ilhas Britânicas e no Açores que associado com um vale depressionário, que se estendia do Norte de África até a Península Ibérica (PI), proporcionou zonas de confluência de ventos ao longo do continente europeu. Assim, na PI o fluxo é Nordeste variando para Este, principalmente em Portugal, influenciando no deslocamento da pluma de fumaça que é primeiramente transportada ao longo do país, devido ao fluxo meridional sobre o Oceano e em seguida, há um escoamento predominante a sul do Oceano Atlântico. A evolução temporal das concentrações simuladas de CO com a sobreposição das linhas de correntes para os distritos atingidos pelos incêndios durante o período, mostraram valores de CO na ordem de 4.500 ppb confinado a uma altura de aproximadamente de 2000 metros para praticamente todos os distritos, excepto em Portalegre, que atingiu níveis na ordem de 1.500 metros. A medida que o gás é transportado verticalmente e homogeneizado dentro da camada de mistura, este termo decresce em intensidade e a sua exportação e expansão na direcção horizontal é em função das as condições proporcionadas pelos fluxos de ar, além dos reacendimentos dos incêndios. Já a série temporal do perfil da concentração de material particulado $PM_{2.5}$ mostraram valores máximos de concentração de $950 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, principalmente para o evento de 09/08/2003 e para os demais dias apresentou oscilações de concentração, caracterizando a presença de material particulado durante todo o período. De forma geral, verificou que modelo conseguiu reproduzir as condições sinópticas actantes que influenciam na exportação dos poluentes.

5. REFERÊNCIAS

- Avissar, R., Mahrer, Y. Mapping frost-sensitive areas with a tree-dimensional local-scale numerical model. Part I: Physical and numerical aspects. *J. Applied Meteorology* 27, pp: 400-413, 1988.
- Bossert J. E. Regional-scale flows in complex terrain: an observational and numerical investigation [dissertation]. Fort Collins, CO: Department of Atmospheric Science, Colorado State University. pp. 257, 1990.
- Chen, C., Cotton, W.R.. A One-dimensional simulation of the stratocumulus- capped Mixed Layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 25, pp: 289-321, 1983.
- Chen, C., W. R. Cotton. The Physics of the marine stratocumulus capped mixed layer. *J. Atmos. Sci.*, 44, pp. 2951-2977, 1987.
- Clark, T. L. A small-case dynamic model using a terrain-following coordinate transformation. *J. Comput. Phys.*, 24, pp. 186-215, 1977.
- European Commission. Schmuck, G., San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Libertà, G., Bucella, P., Schulte E., Flies, R., Colletti, L. (Eds), Forest Fires in Europe – 2003 Fire Campaign, Official Publication of the European Communities, SPI.04.124.EN, 2004.
- European Commission. Barbosa, P., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Libertà, G., Schmuck, G. (Eds) Assessment of fire damages in the EU Mediterranean Countries during the 2003 Forest Fire Campaign, S.P.I.04.64, 2004.
- Freitas, S. R. Modelagem Numérica do Transporte e das Emissões de Gases Traços e Aerossóis de Queimadas no Cerrado e Floresta Tropical da América do Sul. Tese de Doutorado em Física Aplicada, 204 pp. Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1999.
- Freitas, S. R., M. A. F. da Silva Dias and P. L. da Silva Dias. Modeling the convective transport of trace gases by deep and moist convection. *Hybrid Meth. Eng.*, 2, (3), pp 317-330, 2000.
- Freitas S.R., K.M. Longo, M.A.F. Silva Dias, P.L. Silva Dias, R. Chatfield, E. Prins, P. Artaxo, G.A. Grell and F.S. Recuero. Monitoring the Transport of Biomass Burning Emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 5: 135-167, 2005.
- Gal-Chen, T., R. Somerville. On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equations. *J. Comput. Phys.*, 17 (2), pp. 209-228, 1975.
- Grell, G. A., and Dezsó Devenyi. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, vol. 29, no. 14, 2002.
- Incêndios Florestais. 13º Relatório Provisório. Direção Geral das Florestas. Divisão de Proteção e Conservação Florestal.
- Lee, T.J., Pielke, R. A. Estimating the soil surface specific humidity. *J. Applied Meteorology*, 31, pp: 480-484, 1992.
- McCumber, M.C., R.A. Pielke. Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model. Part I: Soil layer, *J. Geophysical Research*, 86, pp: 9929-9938, 1981.
- Mellor, G.L., T. Yamada. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, 31, pp. 1791-1806, 1974.
- Mesinger, F., Arakawa, A. Numerical methods used in atmospheric models, 1. GARP Publications. World Meteorological Organization, 1976.
- Olivier, J. G. J. Part III: Greenhouse gas emissions: 1. Shares and trends in greenhouse gas emissions; 2. Sources and Methods; Greenhouse gas emissions for 1990 and 1995. In: "CO₂ emissions from fuel combustion 1971-2000", 2002 Edition, pp. III.1-III.31. International Energy Agency (IEA), Paris. ISBN 92-64-09794-5, 2002.
- Tremback, C. J., e R. Kessler. A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models. Apresentado na 7º Conference on Numerical Weather Prediction, Montreal, Canadá, AMS, 17-20, Junho, 1985.
- Tremback, C.J., J. Powell, Cotton, W.R., R. Pielke. The Forward-in-Time Upstream Scheme: Extension to Higher Orders. *Mon. Weather Review*, 115, pp: 540-555, 1987.
- Tripoli, G. J., e W. R. Cotton. Three-Dimensional Cloud/Mesoscale Model. Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments. *J. Rech. Atmos.*, 16, pp.185-219, 1982.
- Walko, R. L.; Cotton, W. R.; Meyers, M. P.; Harrington, J. Y. New RAMS cloud microphysics parameterization. Part I: the single-moment scheme. *Atmospheric Research*, 38, pp. 29-62, 1995.
- Walko R., Band L., Baron J., Kittel F., Lammers R., Lee T., Ojima D., Pielke R., Taylor C., Tague C., Tremback C., Vidale P. Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling. *J Appl Meteorol.*, 39: (6) 931-944, 2000.
- Walko, R.L., Tremback, C.J., Bell, M.J. HYPACT Hybrid Particle and Concentration Transport Model, User's Guide. Mission Research Corporation, Fort Collins, CO, 2001.