

## **Análise Numérica do Transporte de Poluentes Emitidos por Incêndios na Amazônia**

*Numerical analysis of transport pollutants emitted by fires over Amazon*

Andrea M. Ramos, PhD

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Pesquisadora.  
Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Membro do Conselho.

[andrea.ramos@inmet.gov.br](mailto:andrea.ramos@inmet.gov.br)

[andrera@uevora.pt](mailto:andrera@uevora.pt)

Fábio C. Conde, PhD

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Consutor de Pesquisa.  
Universidade de Brasília-UnB, Professor.

[fabio.conde@inmet.gov.br](mailto:fabio.conde@inmet.gov.br)

[fabioconde@unb.br](mailto:fabioconde@unb.br)

Maria G. R. Oliveira, Geografa

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Sensoriamento remoto.

[mgal.oliveira@inmet.gov.br](mailto:mgal.oliveira@inmet.gov.br)

### **Resumo**

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma análise do transporte atmosférico de gases e partículas inertes emitidos por incêndios que ocorreram durante o período de outubro de 2009, incluindo com a situação sinótica atuante na exportação destes poluentes. Para simulação numérica do transporte do monóxido de carbono (CO) e do material particulado (PM<sub>2,5</sub>) emitido foi utilizado o modelo CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System). O modelo foi inicializado e ajustado com as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model), configurado com 3 grades com resolução horizontal de 120, 30 e 10 km, centradas em 01°26'S; 48°26'W sendo que a terceira grade, de maior resolução, cobre o estado do Pará, no qual foi analisado a concentração e transporte dos poluentes, uma vez que, o Pará e Mato Grosso contribuíram com cerca de 70% do desmatamento em toda a Amazônia Legal em 2008/2009. Os resultados indicaram que a simulação apresentou uma boa performance em caracterizar as condições atmosféricas, tendo como padrão de exportação predominante para o interior do continente brasileiro, atingindo Amazonas e Mato Grosso.

**Palavra-chave:** Condições sinóticas, Amazônia Legal, qualidade do ar.

## Abstract

This study aims to present an analysis of the atmospheric transport of gases and still particles emitted by forest fires that occurred during period of October 2009, including the acting synoptic situation in the exportation of these pollutants. For the numerical simulation of carbon monoxide transport (CO) and the particulate material (PM<sub>2.5</sub>) emitted, the model CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) was used. The model was initiated and adjusted with the analysis from the global model AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model), configured with 3 grids of horizontal resolution of 120, 30 and 10 Km, 34 centered in 03°26'S; 48°26'W, considering that the 3rd grid, of higher resolution, covers the Pará state, over which the analysis will have greater detail regarding the concentration and transport of pollutants, since Pará and Mato Grosso contributed with about 70% of the deforestation across the Legal Amazon in 2008/2009. The results indicated that the simulation presented a good performance in characterizing the atmospheric conditions, demonstrating a predominant exportation pattern into the Brazilian mainland, reaching of Amazonas and Mato Grosso.

**Keywords:** synoptic conditions, Legal Amazon, air quality

## 1. INTRODUÇÃO

As emergentes e intensas alterações dos ecossistemas florestais nas últimas décadas são um dos sérios problemas ambientais atualmente, uma vez que grandes extensões naturais foram gradativamente substituídas por pastagens artificiais, além dos incêndios florestais que constituem um dos fatores que mais contribuem para a redução das florestas em todo o mundo. O aquecimento global, perdas das florestas temperadas e tropicais, desertificação e perda de biodiversidade são realidades atuais que contribuem para a alteração contínua da biosfera (Lyra, 2003). No caso da Amazônia, que apresenta diferentes características climáticas de superfície, em termos de vegetação e solos, o desmatamento e queimada são duas atividades que impactam a sua superfície e a atmosfera com possíveis consequências no clima local (Dias *et al.*, 2006). As queimadas são uma significativa fonte global de vários gases de “efeito estufa” como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) (Lioussé *et al.*, 2004), além de contribuir com emissões significativas de CO (monóxido de carbono), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio), HCNM (Hidrocarbonetos não metano) cloreto e brometo de metila, compostos orgânicos voláteis (VOC's) e dezenas de outros

gases (Andreae *et al.*, 2002).

O risco dos impactos das mudanças climáticas na Amazônia aumenta quando se somam ao aquecimento global as alterações de vegetação resultantes das mudanças no uso da terra. É prática comum a introdução de capim nestas áreas degradadas para a pecuária poder se desenvolver, além disso, a expansão da fronteira agrícola reveste-se de elevada importância, pois a alteração da cobertura influencia sobremaneira a hidrologia e o clima da região amazônica (Nobre *et al.*, 2001 e 2005). Além disso, o transporte atmosférico das emissões, a partir dos incêndios, produz uma distribuição espacial de fumaça sobre uma extensa área muito superior à área onde estão concentradas. Em particular na Amazônia, movimentos convectivos frequentes, influenciam significativamente o transporte de gases e partículas de aerossóis (Freitas *et al.*, 1999, 2005, 2006, 2007B).

Este trabalho visa desenvolver, mediante a modelagem numérica, a previsão dos campos de concentração e a direção do transporte atmosférico da pluma de fumaça do monóxido de carbono (CO) e do material particulado (PM<sub>2.5</sub>), provenientes da queima de incêndios florestais associado com as condições meteorológicas que atuaram durante 01-04 de Outubro de 2009, período mais crítico do mês, conforme o Boletim de Monitoramento de Focos de Calor do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA). Para a análise do transporte foi utilizado o sistema “Coupled Aerosol and Tracers Transport Model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System” (CATT-BRAMS).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. O modelo CATT-BRAMS**

O modelo atmosférico CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracers Transport model to the Brazilian Regional Atmospheric Modeling System; Freitas *et al.*, 2005, 2006, 2007A, B, Longo *et al.*, 2006, 2007) é um modelo 3D Euleriano que permite o prognóstico a concentração de contaminantes atmosféricos de forma simultânea, e totalmente consistente com o estado atmosférico simulado pelo BRAMS, possibilitando o estudo da interação ou da retro-alimentação entre o

contaminante e a própria atmosfera (como no caso dos aerossóis liberados em incêndios e do seu forçamento radiativo).

O modelo numérico BRAMS é baseado no Regional Atmospheric Modeling System (RAMS, Walko et al., 2000), versão 6 (meioambiente.cptec.inpe.br/brams), com novas funcionalidades e parametrizações especializadas para trópicos e sub-trópicos. O modelo é equipado com um esquema de aninhamento múltiplo que permite que as equações do modelo sejam solucionadas simultaneamente em qualquer número de grades computacionais com resoluções espaciais diferentes que interagem entre si, um complexo conjunto de módulos para simular processos como: transferência radiativa troca de água, calor e momento entre a superfície e a atmosfera, transporte turbulento na camada limite planetária, e microfísica das nuvens.

As condições iniciais podem ser definidas a partir de vários conjuntos de dados observacionais que podem ser combinados e processados com um pacote isentrópico e mesoescala de análise de dados. CATT-BRAMS explora a capacidade de transporte de traçadores do BRAMS de usar espaços reservados para escalares. O transporte on-line do modelo segue a técnica euleriana, solucionando a equação de conservação de massa para monóxido de carbono (CO) e material particulado (PM<sub>2.5</sub>), em que a razão de mistura,  $s$  ( $=p/p_{air}$ ), é calculada usando a equação de conservação de massa (usando a notação de tendências):

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_{adv} + \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_{PBL_{turb}} + \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_{shallow_{conv}} + \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_{deep_{conv}} + W + R + Q,$$

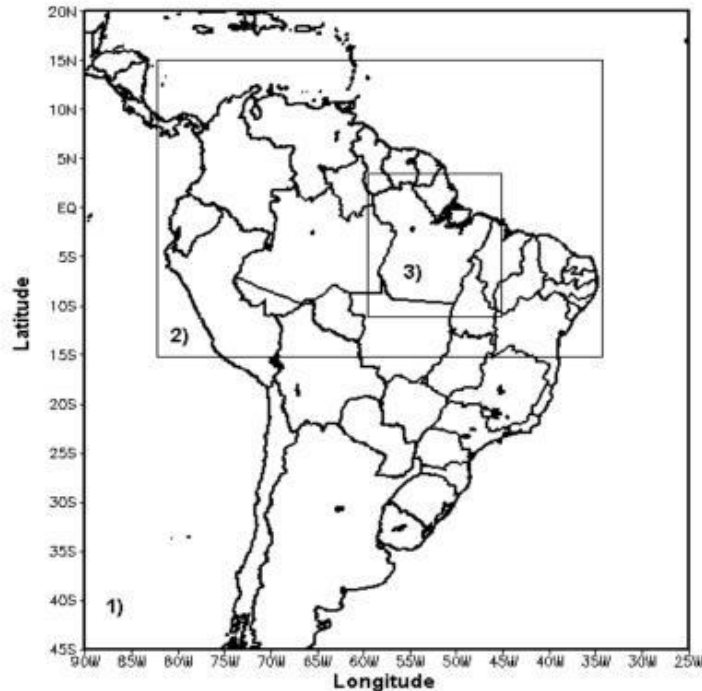
em que **adv**, **PBL turb** e **deep(shallow) conv** significam a advecção na escala de grade, o transporte sub-grade na camada limite planetária (CLP) e o transporte sub-grade associado à convecção úmida e profunda (rasa, não-precipitante), respectivamente. **W** representa o desentranhamento de PM<sub>2.5</sub>, **R** é um termo sumidouro associado com o processo genérico de desentranhamento/transformação de traçadores (deposição e sedimentação para PM<sub>2.5</sub> e transformação química para MC) e **Q** é a emissão associada ao processo de queima de biomassa, incluindo o mecanismo de subida da pluma.

A advecção, na escala de grade, é um esquema avançado de segunda ordem, a difusão horizontal é baseada na formulação de Smagorinsky e a difusão vertical é parametrizada segundo o esquema Mellor e Yamada (1974). O transporte sub-grade associado ao transporte profundo e raso é acoplado ao esquema de convecção de Grell. Para  $PM_{2.5}$ , o esquema de transporte convectivo de traçador é considerado para o desentranhamento pela precipitação (dentro e por baixo das nuvens), baseado no trabalho de Berge (1993). A ascensão da pluma associada à queimada é incluída segundo o conceito de super-parametrização (Freitas et al., 2006, 2007). A parametrização da radiação adicional considera a interação entre partículas de aerossol e radiação de onda longa e curta usando a aproximação rápida two-stream (Toon, et al., 1989). O espalhamento e a absorção pelos aerossóis, calculados com o código Mie para esferas estratificadas (Toon e Ackerman, 1981), foram implementados. Emissões de queimadas são processadas em cada ponto de grade utilizando o modelo de emissões Brazilian Biomass Burning Emission Model (3BEM, Freitas et al., 2005, longo et al., 2007) e focos de queimadas derivados de diversos sensores a bordo de satélites.

## **2.2. Dados e Características das Simulações**

O CATT-BRAMS é inicializado e ajustado com as análises do modelo global AVN/NCEP (Aviation run of the National Center for Environmental Prediction Global Spectral Model) com resolução de aproximadamente  $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ . Os campos analisados incluem geopotencial, temperatura, vento (u,v) e umidade relativa em 11 níveis isobáricos e a pressão à superfície, com intervalo temporal de cada 6 horas (00:00, 06:00, 12:00 e 18:00UTC). O modelo foi configurado com 3 grades com resolução horizontal de 120, 30 e 10 km, centradas em  $01^\circ 26'S$ ;  $48^\circ 26'W$  (Figura 1), sendo que a terceira grade, de maior resolução, cobre o estado do Pará, no qual será analisado com maior detalhe a concentração e transporte dos poluentes. A resolução vertical a partir 150 m acima da superfície, se estendendo a uma taxa de 1.1 até a resolução final de 850 m, com o topo do modelo a aproximadamente 21 km. As simulações foram feitas a partir da 0000 UTC no dia 01/10/2009 por um prazo de 124 horas e saídas a cada 6 horas. O

tipo de vegetação queimada é obtido do mapa de vegetação de 1 km do IGBP-INPE (International Geosphere-Biosphere-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).



**Figura 1:** Domínios das três malhas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

A emissão da fonte de queima de biomassa (para CO e PM<sub>2.5</sub>) foram baseadas nos produtos de fogo disponibilizados pelo GOES-12 (Geostationary Operational Environmental Satellite), GOES-12 WF\_ABBA (GOES Wildfire Automated Biomass Burning Algorithm, Prins et al., (1998)), AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) e para as observações de foco de incêndio baseado nos produtos do MODIS (MODerate – resolution Imaging Spectroradiometer) disponibilizado pelo CPTEC-INPE e em observações de campo. Para cada fogo captado por sensoriamento remoto, a massa de traçadores emitidos é calculada e a emissão modelada segue um ciclo diurno de queima (taxa de emissão). As fontes são distribuídas espacialmente e temporalmente e assimiladas diariamente segundo os focos de queima de biomassa definidos pelas observações de satélite. As emissões de queima de biomassa são adicionadas às emissões de queimada agrícola e queima de lenha

EDGAR (Emission Databases for Global Atmospheric Research) com resolução horizontal de 1°x1° grau e resolução temporal de um ano e as emissões de CO associadas aos processos antropogênicos (indústria, geração de eletricidade, transporte, ect.) foram fornecidas pelas bases de dados EDGAR/RETRO (Emission Databases for Global Atmospheric Research/“the REanalysis of the TROpospheric chemical composition”, (Schultz et al., 2007)). A umidade do solo foi inicializada com base no método de índice de precipitação.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Caracterização das condições meteorológicas**

A atmosfera é um sistema aberto, não isolado, e como tal a composição em termos de aerossóis e gases traço é influenciada não só pelas emissões locais, mas também pelo transporte a longa distância. Em particular na Amazônia, movimentos convectivos frequentes influenciam significativamente o transporte de gases e partículas de aerossóis (Freitas, 1999, Freitas et al., 2003).

A análise das condições meteorológicas na atmosfera e nos oceanos foram baseadas em informações obtidas a partir do Boletim Climático da Amazônia disponibilizada pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e a Revista Climanalise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) para o mês de outubro de 2009. As condições de grade-escala na atmosfera e nos oceanos foram condicionadas em altos níveis por um amplo anticiclone com característica da Alta da Bolívia (AB), observado sobre oceano Pacífico, com uma predominância de anomalias positivas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), notadamente, nas regiões de Niño 3, 3.4 e 4, foram registradas anomalias positivas entre 1,5 e 2°C na região do Niño 4. No oceano Atlântico, na porção norte e na costa leste do Brasil foram encontradas anomalias positivas, enquanto na faixa equatorial a TSM apresentou-se dentro dos padrões normais, favorecendo o deslocamento da ZCIT para posições ao norte de sua climatologia. Em decorrência da influência do fenômeno El Niño na região as chuvas foram escassas. No nível de 200 hPa, observou um fluxo praticamente zonal dentro dos

padrões climatológicos, sem anomalias significativas e um amplo anticiclone sobre centro-sudeste dos estados do Amazonas e centro-oeste do Pará, com características da Alta da Bolívia, porém posicionada mais ao norte em relação a sua posição climatológica. Na porção norte, principalmente, no Pará, os movimentos permaneceram subsidentes de grande-escala resultando em uma diminuição das chuvas na região.

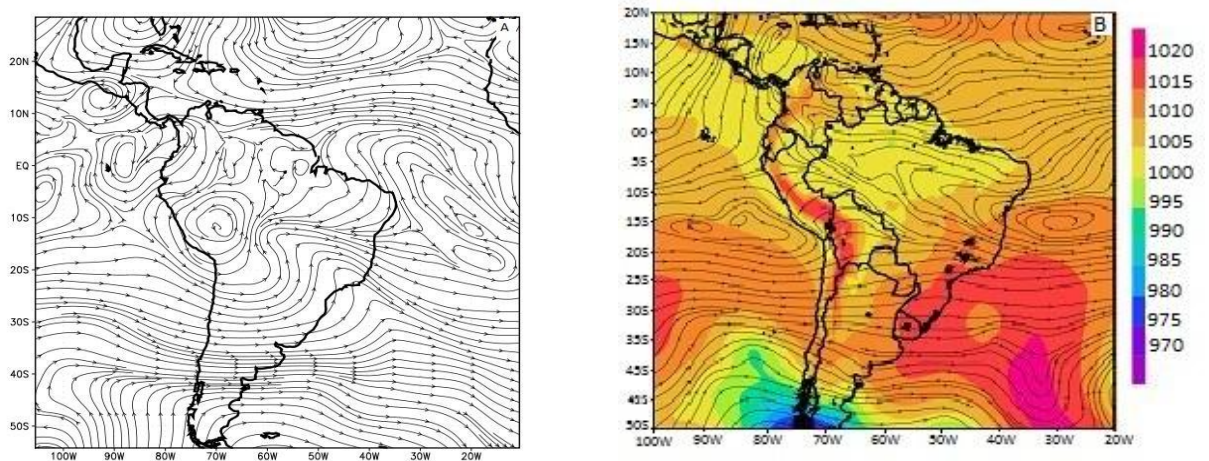
Para o período de 01-15/10/2009, em 250 hPa, observou-se o anticiclone da Alta da Bolívia bem configurado a oeste de sua posição climatológica. Nos campos mensais da altura geopotencial em 500 hPa, mostrou uma ampla área com anomalias positivas de fraca intensidade ao norte do paralelo 20°S e da circulação atmosférica em 850 hPa, um fluxo anômalo de norte da componente meridional do vento, que afetou o centro-sul do Pará, indicando que o Jato de Baixos Níveis (JBN) ficou deslocado a leste da sua posição climatológica, resultando que em superfície, a região ficou sob a influência de uma fraca anomalia negativa da pressão com ocorrência de chuvas acima da média em Outubro.

Na análise das cartas de pressão no nível médio do mar durante o período de 02-04/10/2009, disponibilizado pelo Centro de Hidrologia da Marinha do Brasil (CHM) mostrou que em 02/10/2009 às 00Z um amplo sistema de baixa pressão influenciando toda a região de estudo, com núcleos pontuais de 1008 hPa e a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) centrada em torno de 30°S/85°W, com um núcleo pontual de 1024 hPa e em 03/10/2009 a ASPS começa a dissipar, atuando uma faixa de pressão de 1012 hPa, com ventos de Nordeste (NE) no norte do Pará, favorecendo a entrada de umidade do oceano Atlântico para a região. Em 04/10 este sistema enfraquece, favorecendo o desenvolvimento de um centro de baixa pressão a leste. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuou em uma faixa média entre 8° e 11°N no Pacífico e no Atlântico durante o período do evento e para os dias 03 e 04/10 estendeu-se um cavado equatorial sobre o norte da Venezuela e da Colômbia.

A Figura 2 (a,b) mostra o resultado do CATT-BRAMS das linhas de corrente em 250 hPa, na grade 1 (120 km) no período de 1-15/10/2009, simulando a Alta da Bolívia posicionada a oeste de sua configuração, de acordo com o observado.

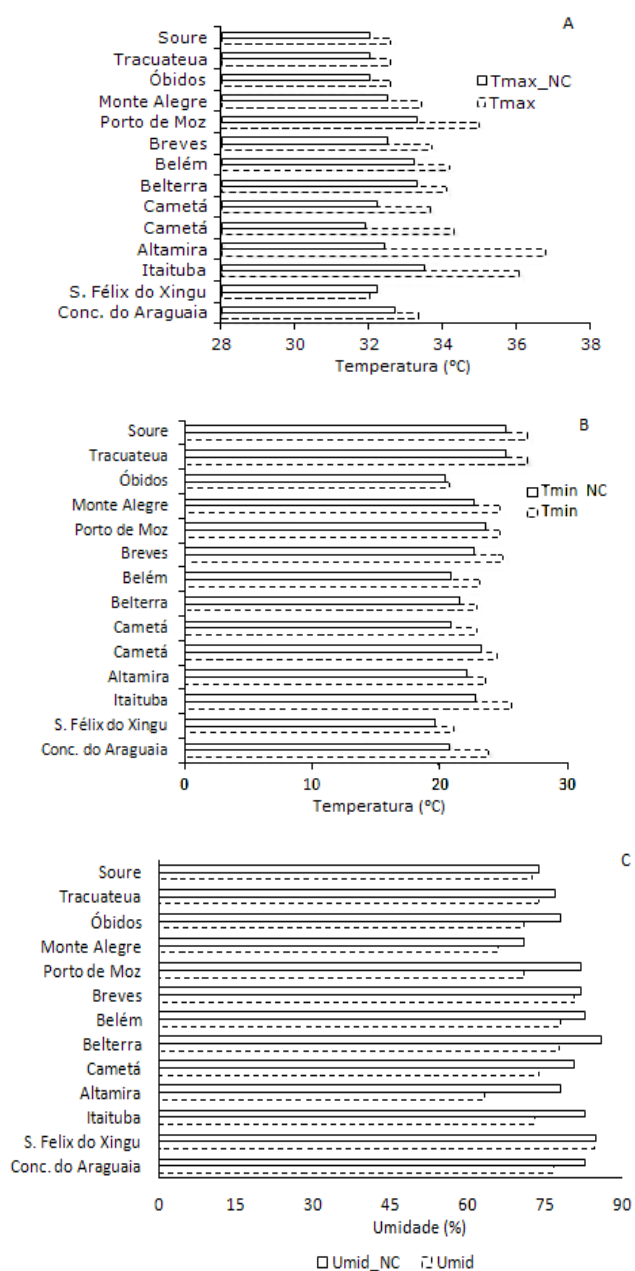


Em superfície (Figura 2b), notam-se os anticiclones subtropicais semi-permanentes aproximadamente na sua posição climatológica, com fraca anomalia ao norte do paralelo 20°S e ao sul do paralelo 40°S e em baixo níveis, o modelo simulou um campo de pressão variando em torno de 1005 hPa, com anticiclones subtropicais mais ao norte.



**Figura 2:** (a) Linhas de Corrente e (b) campo de pressão ao nível médio do mar simulado pelo CATT-BRAMS no período de 1-15 de outubro de 2009.

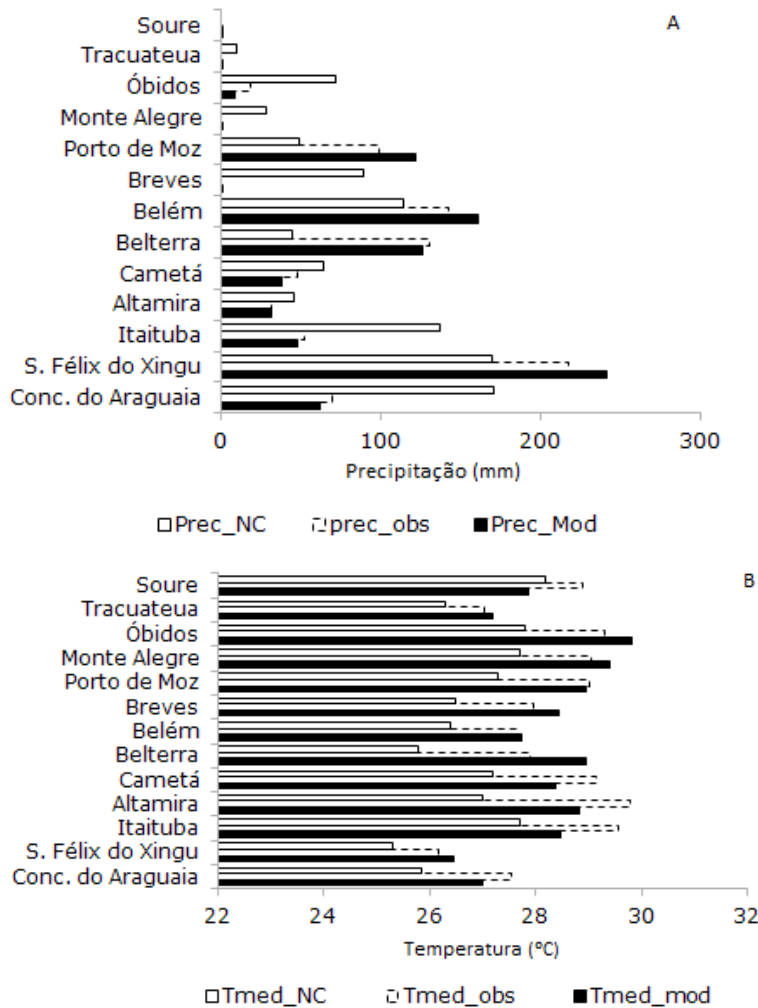
Analisando as temperaturas (máxima e mínima) observadas no Pará (Figura 3a,b) e umidade relativa do ar (Figura 3c) a partir do conjunto de estações meteorológicas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado versus a Normal Climatológica 1961-1990 (NC) indicam que o período foi mais quente, ficando acima da média em cerca de 2°C, principalmente em Altamira e Itaituba para a temperatura máxima (Figura 3a) e Soure e Tracuateua para a temperatura mínima, como pode ser observado na figura 3b. Em relação à umidade, os resultados mostraram que o período ficou seco, principalmente em Altamira, Monte Alegre e Óbidos.



**Figura 3:** Valores observados para a temperatura máxima (a), mínima (b), umidade relativa (c) das estações meteorológicas do INMET e a Normal Climatológica 1961-1990 (NC) para outubro de 2009 no Pará.

Os resultados simulados para a precipitação acumulada e a temperatura média são apresentados na Figura 4 e mostram que, a precipitação simulada superestima, mas acompanha o observado, confirmando a caracterização sinótica estabelecida, com precipitações acima da média climatológica com máximos orientados no sentido noroeste-sudeste como em São Felix do Xingú (217.60mm), Belterra (130.10mm) e Belém (142.30mm). Os mínimos de precipitação (abaixo

de 100 mm) concentram-se no sentido oeste-norte do estado como podem serem observados em Óbidos (18.4mm) e Itaituba (52.10mm), conforme registros das estações do INMET. Para a temperatura média, os valores modelados ficaram acima da média climatológica e do observado para todas as cidades analisadas, principalmente em Óbidos e Monte Alegre, caracterizando um ambiente quente, uma vez que, o observado ficou acima da média climatológica.



**Figura 4:** (a) Precipitação acumulada e (b) temperatura modeladas, observadas e em relação a Normal Climatológica 1061-1990 para outubro de 2009 no Pará.

### 3.2. Descrição dos desmatamentos e focos que ocorreram em Outubro de 2009

Em relação à descrição do desmatamento que ocorreu em outubro de 2009

na Amazônia Legal, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apresentou o levantamento do desmatamento por corte no período de agosto/2008 a julho/2009. Medido pelo PRODES (Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal), após a análise de 400 imagens dos satélites LANDSAT, CBERS e DMC, o desmatamento no período foi de 7.464 km<sup>2</sup>. Foram registradas reduções nas taxas de desmatamento de todas as unidades federativas da Amazônia Legal, sendo substanciais as reduções observadas no Mato Grosso (-68%) e no Pará (-24%), estados que juntos contribuíram com cerca de 70% do desmatamento em toda a Amazônia Legal em 2008 e 2009. O Pará respondeu em 2008-2009 por 57% do desmatamento na Amazônia Legal, aumentando sua participação de 43% em relação ao período 2007-2008. No mesmo período, Mato Grosso reduziu sua participação no desmatamento total de 25% para 14%. O Maranhão em 2009 respondeu por 11% do desmatamento total, com ligeiro aumento em relação a 2008 quando sua participação foi de 10%. Rondônia manteve a tendência de queda desde 2004; em 2009 sua taxa foi menor que 1.000 km<sup>2</sup>/ano pela primeira vez desde 1988.

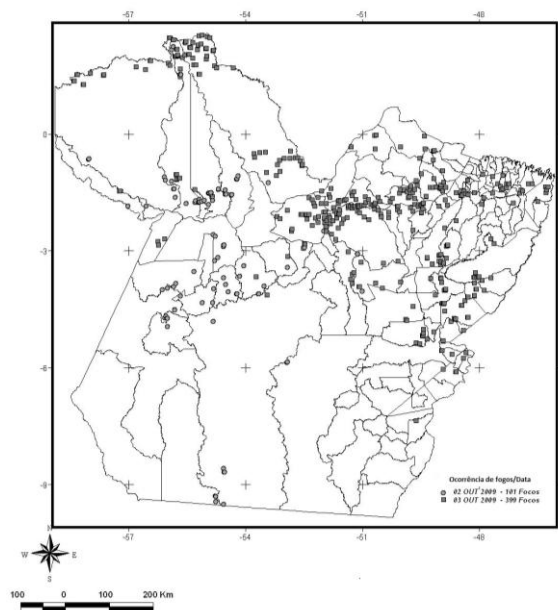
Em relação ao monitoramento de focos de calor, que podem evoluir para incêndios, segundo o Boletim de Monitoramento de Focos de Calor do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA), foram detectados na Amazônia Legal a partir das imagens dos satélites NOAA-15 e TERRA e AQUA durante o período de 02 a 05 de outubro de 2009, focos de calor nos estados do Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins.

No Pará, que será abordado à análise da concentração do poluente, os focos de calor foram detectados em diversos locais do estado durante o período do evento, sendo que o dia 03/10/2009 registrou a maior quantidade de focos de queimada, no total de 339, como pode ser observado na Figura 5 apresenta a distribuição espacial da ocorrência de focos de queimada atingindo diversos municípios do estado principalmente em uma faixa do nordeste ao centro atingindo Porto de Moz, Gurupá, Melgaço e parte extremas como Oriximiná e Almerim, no total de 62, com 1.137 números de focos de calor (Tabela 1) detectados pelos satélites NOAA-15, 1 foco detectado pelo AQUA-M e 13 pelo

TERRA-M. Segundo o Boletim do IBAMA e devido as condições meteorológicas, de 02 a 04 de outubro de 2009, foram detectados focos de calor em praticamente todos os estados da Amazônia Legal e no Pará, o dia 03 foi o mais significativo detectando em diversos locais do estado, no total de 339 focos de calor.

**Tabela 1:** Número de focos de calor detectados pelos satélites NOAA-15, AQUA-M, TERRA-M durante o período de 02 a 04/10/2009.

Satélite	Nº de focos	Data
NOAA-15	888	2/10/2009
<b>NOAA-15</b>	<b>1137</b>	<b>3/10/2009</b>
NOAA-15	281	4/10/2009
<b>AQUA-M</b>	<b>1</b>	<b>3/10/2009</b>
<b>TERRA-M</b>	<b>13</b>	<b>3/10/2009</b>
AQUA-M	5	4/10/2009
TERRA-M	13	4/10/2009



**Figura 5:** Ocorrência de focos de queima para o período de 02 a 03 de Outubro de 2009. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

### 3.3. Descrição das simulações do transporte de poluentes

Os resultados da concentração e do transporte de plumas de fumaça são originados a partir da exportação vertical de produtos de queimadas e da configuração sinótica atuantes durante todo período, que foi condicionada por um amplo campo anticiclônico, abrangendo praticamente todo o domínio da malha que associado com uma baixa pressão em superfície atuando em praticamente toda a região de estudo, proporcionou zona de ventos ao longo da região predominante de Nordeste ao litoral do paraense e sob o estado variando para leste, influenciando no deslocamento da pluma de fumaça que é primeiramente transportada para o interior do território brasileiro, devido ao fluxo zonal do Oceano e em seguida, há um escoamento predominante em uma faixa nordeste-sudoeste atingindo os estados do Amazonas (AM), Rondônia (RO), Acre (AC) e Mato Grosso (MT) saindo do território a partir da latitude em torno de 15°S atingindo uma parte da Bolívia.

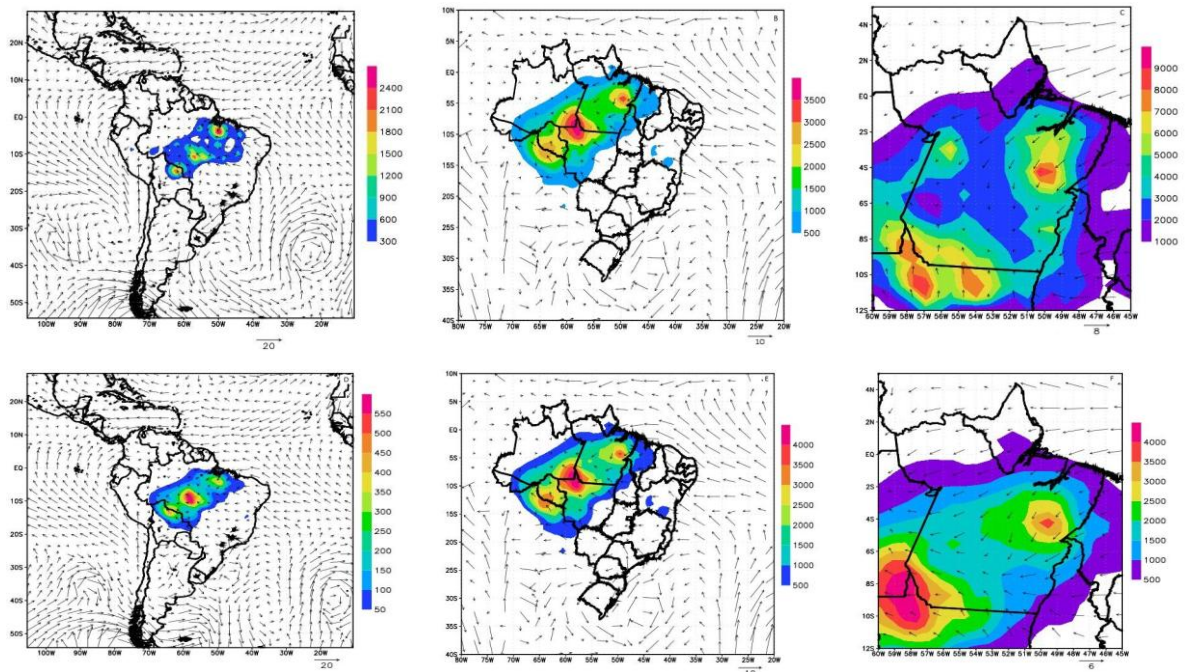
Em relação aos núcleos de concentração média do monóxido de carbono (CO) na grade 1 (120 km), a Figura 6a mostra que o máximo de concentração ficou em torno de 2400 ppb sendo observados na porção oriental do estado paraense e em MT, além de valores médios em torno de 1200 ppb no restante do estado paraense atingindo regiões do AM, RO, com o padrão de escoamento da pluma para o interior do país em uma faixa NE-SW. Na grade 2 (30 km), que teve como objetivo permitir a passagem de informações que ocorrem da malha de maior resolução para a menor, persiste um máximo na parte oriental do PA (Figura 6b) que devido a resolução da grade, apresenta um máximo de concentração na ordem de 3500 ppb atingindo a parte extrema dos estado do AM e MT e em RO, mostra ainda valores máximos na ordem de 3000 ppb e mínimos em torno de 1500 ppb atingindo toda a faixa de concentração do poluente, expandindo mais para o leste do AM de forma que é observada concentração na ordem de 1000 ppb na parte oeste do AC.

O resultado da Figura 6c indica que o padrão de exportação e concentração é em função de um fluxo predominante de nordeste no litoral variando para meridional no sul do estado que, em função da resolução da grade, há pormenorização das concentrações de CO sobre a região de interesse com núcleo máximo no nordeste do estado em torno de 8000 ppb sob áreas como em

Gurupá, Porto de Moz, Portel e Limoeiro do Ajuru, além da parte norte de MT e extremo sudeste do AM. Há núcleos na ordem de 6000 ppb atingindo as proximidades da capital Belém, Paragominas, Santarém e no sul na região da Serra do Cachimbo; concentrações em torno de 3000 ppb em uma faixa envolvendo o centro do estado do PA expandindo para Ilha do Marajó e Amapá (AP) e na ordem de 2000 ppb a oeste do Maranhão (MA) e boa parte de Tocantins (TO).

As Figuras 6d, 6e e 6f apresentam as simulações médias do conteúdo de material particulado ( $PM_{2.5}$ ), em  $\mu g.m^{-2}$ , integrado na coluna atmosférica, com a sobreposição do campo do vento para o período de estudo. Há concentração em praticamente todo o domínio da grade 1, com máximos valores observados a leste do PA, extremo sudoeste do AM, noroeste de MT e oeste de RO, expandindo o escoamento para Bolívia, mantendo o corredor de exportação e núcleos de concentrações similares ao observado para o CO com fluxo de NE do oceano para o litoral leste paraense e uma faixa NE-SW com máximos observados em torno de  $4000 \mu g.m^{-2}$  nos extremos do PA, AM e MT, confinados devido ao fluxo de sudeste do Oceano e um fluxo de oeste da parte oriental do AM, como observado para a grade 2 (Figura 6 b).

Na grade 3, devido a configuração sinótica, mantém a concentração envolvendo praticamente todo o estado paraense, partes dos estado do AP, AM, MA e MT. As regiões localizadas no nordeste e extremo sudoeste do PA apresentam núcleos localizados de valores máximos na ordem de  $4000 \mu g.m^{-2}$  próximo a Paragominas, Goianésia do Pará, Rondon do Pará, municípios que registraram focos de calor, conforme detectado pelo IBAMA, além de concentrações no extremo sudoeste do estado atingindo o noroeste de MT e sudeste do AM; concentrações na ordem de  $2500 \mu g.m^{-2}$  e em Belém, a concentração fica na ordem de  $2000 \mu g.m^{-2}$ , com padrão de exportação similar a do CO.



**Figura 6:** Simulações numéricas obtidas pelo CATT-BRAMS do monóxido de carbono (CO), em ppb, e material particulado (PM<sub>2.5</sub>), em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ , integrado na coluna atmosférica com sobreposição do campo do vento para 3 grades: 120 (A, D), 30(B,E) e 10 km (C,F), durante o período 2 – 3/10/2009.

Os resultados indicam que o padrão predominante de exportação do CO foi para o interior do continente, em função de um fluxo predominante de nordeste, do oceano, para a região em todas as grades analisadas. Ressalta-se que a segunda grade, teve por objetivo permitir a passagem de informações que ocorrem da grade de maior resolução (10 km) para a de menor resolução (120 km). Para a grade 3, em função da resolução da grade, há pormenorização das concentrações de CO sobre o estado do Pará, com núcleos 5000 ppb na faixa que envolve o norte do estado e um núcleo máximo na região sudoeste do Pará (PA), atingindo partes extremas do sudeste do Amazonas e norte de Mato Grosso. O padrão de escoamento é similar para o PM<sub>2.5</sub>, com uma orientação nordeste-sudoeste, atingindo uma parte do sudeste do Amazonas (AM) e norte de Mato Grosso (MT).

#### 4. CONCLUSÕES



Na última década, a Amazônia tem sido foco de atenção mundial devido à sua riqueza mineral, à sua grande biodiversidade de espécies florestais e também pelos efeitos que o desmatamento em grande-escala pode provocar no clima regional e global. Uma queda substancial e consistente do desmatamento vem sendo verificada desde 2004, quando foi criado, pelo governo federal, o Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAM). Entretanto, em 2008/2009 houve aumento do desmatamento no total de 7.464 km<sup>2</sup> e o Pará, respondeu por 57% desse desmatamento, aumentando sua participação em 43% em relação ao período de 2007-2008. O trabalho teve como objetivo a previsão dos campos de concentração e a direção do transporte de poluentes provenientes da queima de incêndios florestais ou mesmo em áreas do avanço de fronteira agrícola. Na primeira parte do trabalho, foi realizado a análise das condições sinóticas e a descrição dos focos de queima para caracterizar o ambiente atmosférico em outubro de 2009, assim como a característica da simulação utilizando o CATT-BRAMS e na segunda parte, foi analisada a previsão e o transporte de poluentes durante os eventos de 2-3/10/2009 que correspondeu ao período mais crítico desde então, conforme o Boletim de Monitoramento de Focos de Calor do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA).

Os resultados indicam que as condições sinóticas estabelecidas durante o período, na Amazônia, foram condicionadas em altos níveis por um amplo anticiclone com característica da Alta da Bolívia. Em 850 hPa foi observado um fluxo anômalo do norte afetando o centro-sul do Pará, indicando que o Jato de Baixos Níveis (JBN) ficou deslocado a leste da sua posição climatológica, proporcionando chuvas anômalas que ocorreram durante outubro e em superfície, mostrou fraca anomalia negativa da pressão para a região de interesse. Em relação ao transporte da pluma produzido pelos incêndios é originado a partir da exportação vertical de produtos de queimadas e da configuração sinótica atuante, de forma que a simulação apresentou uma boa performance em caracterizar as condições atmosféricas com padrão predominante de exportação da pluma para o interior do continente brasileiro.

As conclusões referentes a metodologia apresentada mostram que os

resultados mais pormenorizados para a malha de maior resolução (10 km) confirmam que a técnica de aninhamento de grades pode ser bastante útil nas simulações de circulações locais, com fluxo de nordeste constante, confirmando o verificado na grade 1, para todo o período analisado. Ressalta-se ainda que a poluição provocada pelos incêndios pode atingir regiões distantes dos locais de origem e que adicionada a poluição antropogênica associada à ocupação urbana e atividades industriais, pode aumentar suas concentrações, proporcionando prejuízos ao meio ambiente como um todo.

## 5. BIBLIOGRAFIA CITADA

CPTEC, 2009. **Climanalise**, 24, N°10, Outubro. (<http://climanalise.cptec.inpe.br/>). Acesso em 22/04/2010.

Silva Dias, M.A.F.. **Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: Uma síntese de resultados do LBA**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, (3a): 190-199, 2006.

Freitas, S.R., Longo, K., Silva Dias, M.A.F., Chatfield R., Silva Dias, P., Artaxo, P., Andreae, M., Grell, G., Rodrigues, L., Fazenda A., Panetta J.. **The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7: 8525-8569, 2007.

Freitas, S.R., Longo, K., Silva Dias, M.A.F., Silva Dias, Chatfield R., Prins, E., Artaxo, P., Grell G., Recuero, F.. **Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America**. *Environmental Fluid Mechanics*, DOI:10.1007/s10652-005-0243-7, 5 (1-2): 135-167, 2005.

Freitas, S. R., Longo, K., Andreae, M.O.. **Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants**, *Geophysical Research Letters*, 33, L17808, doi:10.1029/2006GL026608, 2006.

Gevaerd, R. e Freitas, S. R.. **Estimativa operacional da umidade do solo para inicialização de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação**, *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21, 3:1-15, 2006.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA/MMA. **Boletim de Monitoramento de Focos de Calor Amazônia Legal. Nº. 194 AML/2009**. Data: 05/09/2009.

Longo K.M, Freitas S.R., Setzer, A., Prins, E., Artaxo, P., Andreae, M.O.. **The**

**Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories.** *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8571-8595, 2007.

Longo K.M, Freitas S.R., Silva Dias, M.A.F., Silva Dias, P.. **Numerical modeling developments towards a system suitable to a real time air quality forecast and climate changes studies in South America.** *Newsletter of the International Global Atmospheric Chemistry Project*, Taiwan, v. 33:12-16, 2006.

Lyra, M. C.. **Fogo e Mudanças Ambientais: Uma Síntese de Treze Anos de Colaboração entre o Serviço Florestal do USDA (Departamento de Agricultura dos EUA) e o Governo Brasileiro**, 36p, 2003.

Nobre, C.. **Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono? Em: Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia.** Ministério do Meio Ambiente: p197-224, 2001.

Nobre, C., Assad, E.D.. **Mudança ambiental no Brasil. Em Terra na estufa.** *Scientific American Brasil*, 12:70-75, 2005.

Moraes, B.C., Costa, J.M.N., Costa, A.C.L., Costa, M.H.. **Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará.** *Acta Amazônica*, 35: 207-214, 2005.

Prins, E. Feliz M., Menzel, J M., Ward, D.E.. **An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America.** *Journal of Geophysical Research*, 103: 31821-31825, 1998.

Schultz, M. G., Backman, L., Balkanski, Y., et al.. **Reanalysis of the Tropospheric chemical composition over the past 40 years (RETRO): A long-term global modeling study of tropospheric chemistry.** Jlich/Hamburg, Germany, 48/2007 report on Earth System Science of the Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, ISSN 1614-1199, 2007.

Sistema de Proteção da Amazônia-SIPAM. **Boletim Climático da Amazônia.** Ano 6, Nº. 61 Novembro de 2009.

Walko, R.L., Tremback, C.J.. **Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) version 4.3/4.4 – Model Input Namelist Parameters**, 2000. In <http://www.atmet.com>, 2000.