



## TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO ORIUNDO DA QUEIMA DA CANA NO ESTADO DE SÃO PAULO

THIAGO SOUZA SILVEIRA<sup>1</sup>  
MARIA ELISA SIQUEIRA SILVA<sup>2</sup>

---

**Resumo** : O presente trabalho apresenta como os casos de queimadas nos canaviais no estado de São Paulo podem transportar poluentes para as grandes Regiões Metropolitanas do país e contribuir para uma piora na qualidade do ar na área urbana. A rota da pluma de poluentes segue o caminho determinado pelo vento e outras condições atmosféricas, como umidade, delimitam a quantidade de concentração, por exemplo. O custo social para dominarmos a bioenergia não se reflete apenas nas péssimas condições de trabalho no campo, mas também no ar que respiramos, e deve ser pesado nas decisões quando à escolha da matriz energética do país.

**Palavras chave:** Queima de cana-de-açúcar; estado de São Paulo; Poluição atmosférica; Circulação Atmosférica.

---

**Abstract** : This study presents how sugarcane biomass burn in Sao Paulo state can transport pollutants to large Metropolitan Areas in Brazil and contribute to worse air quality in urban area. The path of plume pollutants follows a wind determined way and others atmospheric conditions, as humidity, limit its quantity of concentration, for example. The social impact to control bioenergy does not reflect only on bad conditions of workers in farms, but also on the air we breathe, and it should be relevant on decisions to choose the energy matrix.

---

**Key words:** Sugarcane burn; Sao Paulo state; Air Pollution; Atmospheric Circulation.

---

### 1 – Introdução

Depois do primeiro choque do petróleo, em 1973, o Brasil precisou fazer uma escolha com relação à sua matriz energética (FARIELLO e OLIVEIRA, 2012). Na época, uma opção, pioneira foi entrar no ramo dos biocombustíveis, o que não era amplamente usado no início da década de 70. Entretanto, tínhamos bom conhecimento do processo agrícola, especialmente do de cana-de-açúcar, onde plantamos desde o século XV (TAQUES, 2003). A vocação agrícola do país, a experiência com o cultivo da cana e o bom desenvolvimento de pesquisas com motores a etanol definiram o rumo a ser tomado, da década de 1970 em diante, com

---

<sup>1</sup> Acadêmico do programa de pós-graduação em Geografia da Universidade de São Paulo. E-mail de contato: thiagosousilveira@usp.br.

<sup>2</sup> Docente do programa de pós-graduação da Universidade de São Paulo. E-mail de contato: elisasiq@usp.br.



relação aos combustíveis destinados à frota de automóveis no Brasil (FARIELLO e OLIVEIRA, 2012).

Diante da primeira crise global do petróleo o governo brasileiro resolveu-se, na década de 70, financiar maciçamente pesquisas relacionadas à produção do combustível oriundo cana, além de subsidiar sua produção. Na década de 1980 foi criado o Programa PROÁLCOOL (BIODIESELBR, 2014). Apesar de ser considerado um combustível mais limpo do que os derivados do petróleo (gasolina e diesel), uma vez que não há emissão de enxofre, por exemplo (TEIXEIRA, *et al.*, 2007), há preocupações sobre os custos que esse tipo de energia oferece, uma vez que a colheita da cana está associada, em muitos casos, à queima anterior do canavial. Este processo contribui para o aumento da poluição atmosférica pela emissão de material particulado e gases tóxicos.

Nesta pesquisa busca-se entender como a circulação atmosférica regional sobre o sudeste do Brasil influencia a concentração da poluição atmosférica oriunda da queima de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol no estado de São Paulo.

A queima do canavial anteriormente à colheita da cana-de-açúcar é um método largamente usado e apresenta algumas vantagens: afasta animais peçonhentos, permite a maior concentração de cinzas no solo, facilita o transporte e diminui o pagamento do talhão uma vez que a cana é desidratada e perde boa parte das folhas (ROSETTO, 2010).

## 2 – Discussão

O objetivo desse estudo é indicar, através do uso de modelagem atmosférica, o transporte atmosférico sobre a região Sudeste do Brasil de poluentes gerados pela queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, durante períodos de máxima concentração de material particulado ( $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ ).

Para isso, a definição da concentração de gases e material particulado através de modelagem atmosférica exige o conhecimento da localização das áreas onde há cultivo de cana no estado de São Paulo. O setor de Sensoriamento Remoto (SERE), do Instituto Nacional de Estudos Espaciais (INPE), através do Programa



CANASAT (PROGRAMA CANASAT, 2003), fornece a localização das áreas de plantio e colheita de cana, com e sem queima, para todo o país e em diversos anos. Nesse estudo será enfatizado o estado de São Paulo, tal como indicado na Figura 01 e também o ano de 2010.

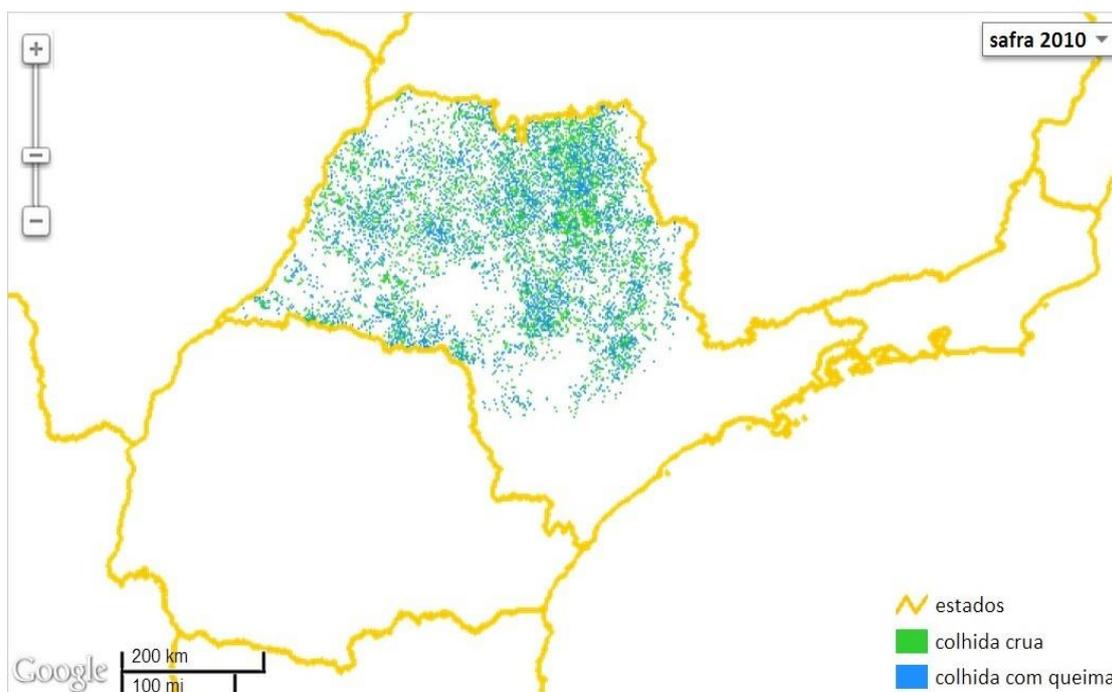


Figura 01 – Áreas de cana no estado de São Paulo com (azul) e sem (verde) queima durante a colheita – Fonte: CANASAT / INPE (2013)

Verifica-se, através da Figura 01, que a maior parte da cana colhida no estado de São Paulo é queimada. O plantio da cana concentra-se no interior do estado e, principalmente, em sua porção norte-nordeste, na área do município de Ribeirão Preto.

A diferenciação entre as áreas com e sem queima é feita pela comparação entre os dados de uso do solo com dados dos pontos quentes na superfície terrestre (GONTIJO, *et al.*, 2011).

Uma vez estabelecidas as localidades com os maiores valores de queima de biomassa, é necessário identificar o perfil econômico de cada região. A região de Ribeirão Preto, por exemplo, com maior concentração de queima de biomassa apresenta diversas atividades econômicas.

Os perfis dos municípios onde há estações de medição de qualidade de ar foram agrupados de acordo com sua vocação econômica: para a agricultura, para a



pecuária e urbana; uma rural, uma rururbano e outra urbana. Desse modo, pode-se estabelecer tipos e concentrações de poluição de acordo com a atividade predominante no município. Com relação à localização geográfica, foram selecionados municípios a oeste (Marília), ao centro (Piracicaba) e no litoral (Cubatão) do estado.

O modelo CCATT-BRAMS (FREITAS, *et al.*, 2009) realiza a modelagem da atmosfera em duas etapas: uma constituída pela representação da dinâmica e da física atmosférica, BRAMS, e a outra, voltada para a representação da química atmosférica, CCATT. O modelo descreve também as características de uso da terra através do esquema de superfície. No modelo também são levadas em consideração a topografia da área, a umidade no solo e a temperatura de superfície do mar (FONSECA, 2012).

Como se trata de um modelo regional, dados provenientes do modelo global CPTEC T126, tal como citado e usado em LONGO, *et al.* (1999) devem ser fornecidos ao CCATT-BRAMS para servirem como condição de fronteira (CF) – condição atmosférica perto das bordas do recorte espacial do modelo – e condição inicial (CI) – condição atmosférica para início do processamento dos dados.

Com base no local da área queimada, o modelo calcula a taxa de emissão de poluentes para a atmosfera. As emissões sobre processos antropogênicos são dadas por inventários, como o EDGAR (*Emission Database for Global Atmospheric Research*) e o RETRO (*REanalysis of theTROpospheric chemical composition*), para o caso de São Paulo (FREITAS, *et al.*, 2009).

A concentração dos poluentes no CCATT-BRAMS é calculada de acordo com a taxa de emissão da biomassa queimada em superfície, na verificação do uso da terra, seu transporte na atmosfera e sua transformação em outros compostos são feitas, respectivamente pela modelagem do vento e pela parte de modelagem química do *software*.

Os resultados são apresentados para o material particulado fino, de 2,5 µg de tamanho, variável simulada pelo modelo. Segundo os padrões da CETESB, há uma correlação entre a emissão de particulados grandes (MP<sub>10</sub>) e particulados finos (MP<sub>2,5</sub>) de aproximadamente dois para um. Como os episódios aconteceram em períodos distintos, da dispersão da poluição devem também ser distintas.



Para testar a sensibilidade do modelo CCATT-BRAMS em simular a queima de biomassa proveniente somente pela queima de cana foram propostos dois experimentos. O primeiro considerado como controle (CTRL), foi definido com uso da terra sem queimada de cana, o segundo, considerado como o experimento de sensibilidade (EXP), foi definido com a queima da cana no estado de São Paulo. Assim, a comparação das simulações realizadas nos dois experimentos deve mostrar o transporte da poluição oriunda apenas da queima da cana no estado de SP.

### 3 – Resultados

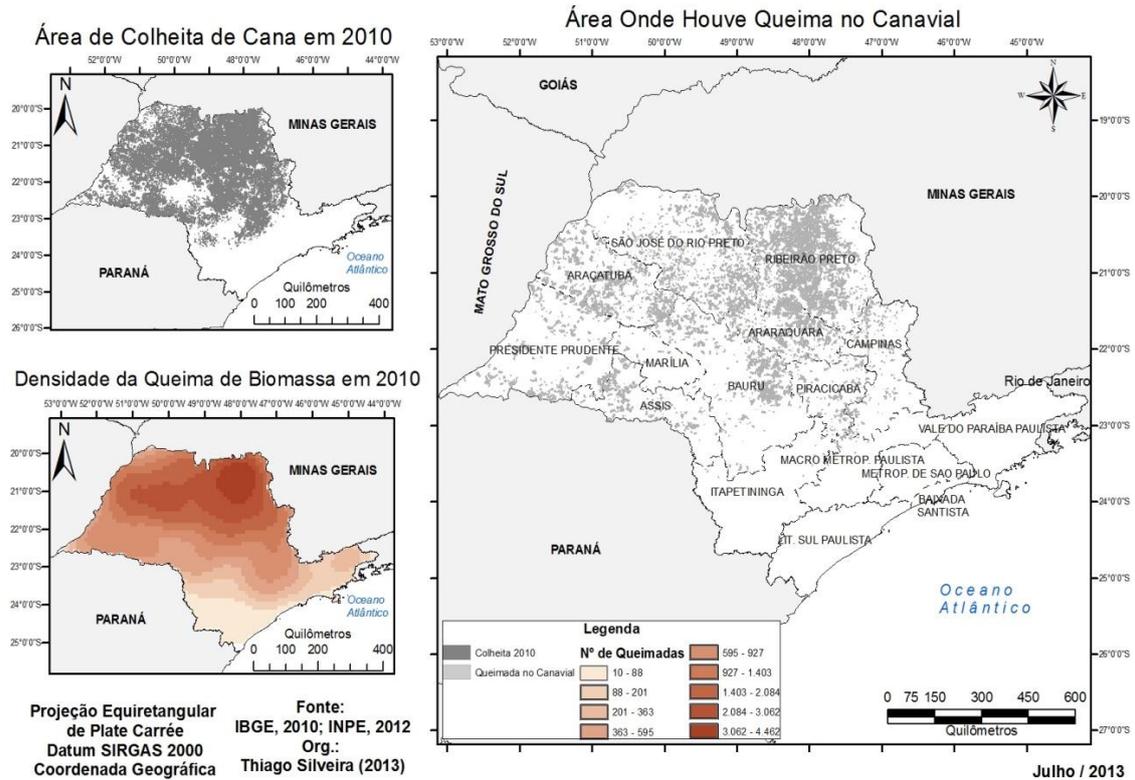
Os dados referentes às áreas de plantio de cana e de queima de biomassa no estado de São Paulo, obtidos através do INPE, permitem mapear as áreas com maior concentração no ano de 2010. O resultado obtido neste mapeamento é bastante similar ao mostrado na Figura 01, indicando a principal área de queima de biomassa como a região de Ribeirão Preto.

O perfil econômico de cada município do estado de São Paulo foi definido de acordo com os dados fornecidos pelo IBGE, no portal Cidades@ (IBGE, 2006). A presença de uma estação de qualidade do ar mantida pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi considerada como critério para a seleção dos municípios estudados. Nos resultados são apresentados no

Gráfico 01 e apenas os dados de material particulado de  $10,0 \mu\text{g m}^{-3}$  ( $\text{MP}_{10}$ ), uma vez que este é o principal produto da queima de biomassa (ZANCUL, 1998).

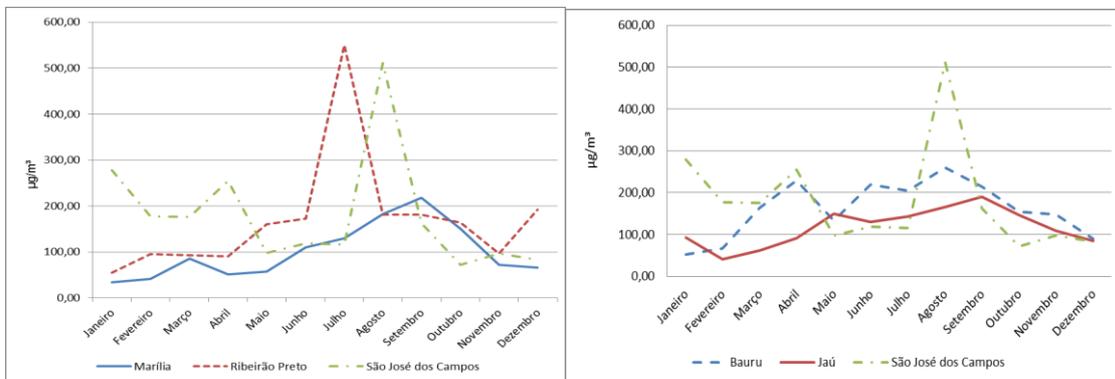


**Mapa de Queimadas em Áreas de Colheita de Cana de Açúcar em 2010**



Mapa 01 – Mapa de densidade de queimadas em áreas de colheita de cana, em 2010.  
 Fonte dos dados: IBGE (2010) e INPE (2012)

**Perfis por tipo de produção: rural, rururbano, urbano**



Cidade	Perfil Econômico
Marília	Produtor de cana
Ribeirão Preto	Rururbano
São José dos Campos	Urbano
Bauru	Agropecuário
Jaú	Produtor de cana

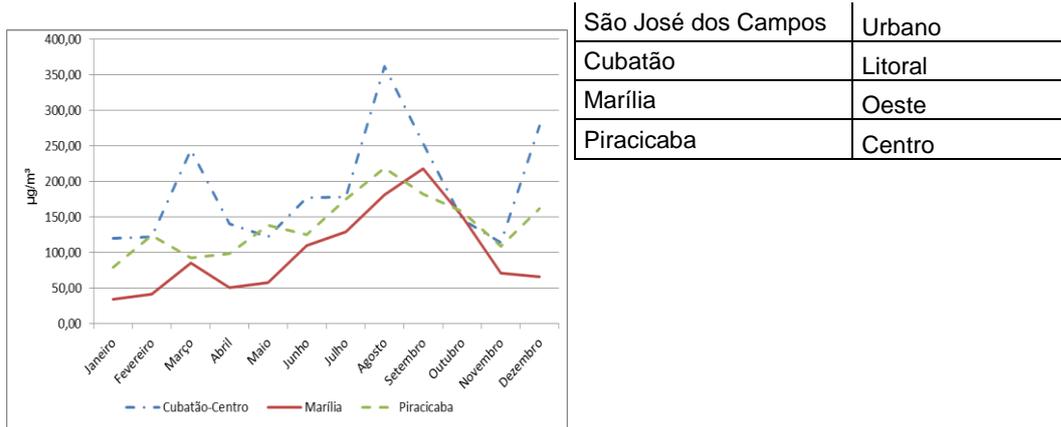


Gráfico 01: Máximos absolutos mensais de  $MP_{10}$ , para 2010, segundo os perfis econômicos dos municípios. Fonte de dados: CETESB

As cidades classificadas como industriais, Cubatão e São José dos Campos, tendem a ter uma taxa mais alta de material particulado, com picos durante os meses secos. As dedicadas à agropecuária, Bauru, tendem a ter um ar mais limpo relativamente ao  $MP_{10}$ , e picos nos meses secos (junho a setembro). Dentre as cidades produtoras de cana, exceto Catanduva, o mês mais poluído foi setembro. Este resultado tende a ocorrer nos meses com mais episódios de queima de biomassa no estado, que é também o auge da colheita e, climaticamente, a época do ano que apresenta maior estabilidade atmosférica na região.

Conhecendo-se o problema que a queima de cana trás para a sociedade local, torna-se necessário identificar qual é sua contribuição em relação à queima total realizada no estado de São Paulo. A comparação mensal entre o número de queimadas nas áreas de cana e o número de queimadas total no estado indica que, durante o período seco (junho a setembro), o primeiro equivale a aproximadamente até a 40% em relação ao segundo, tal como indicado no Gráfico 02.

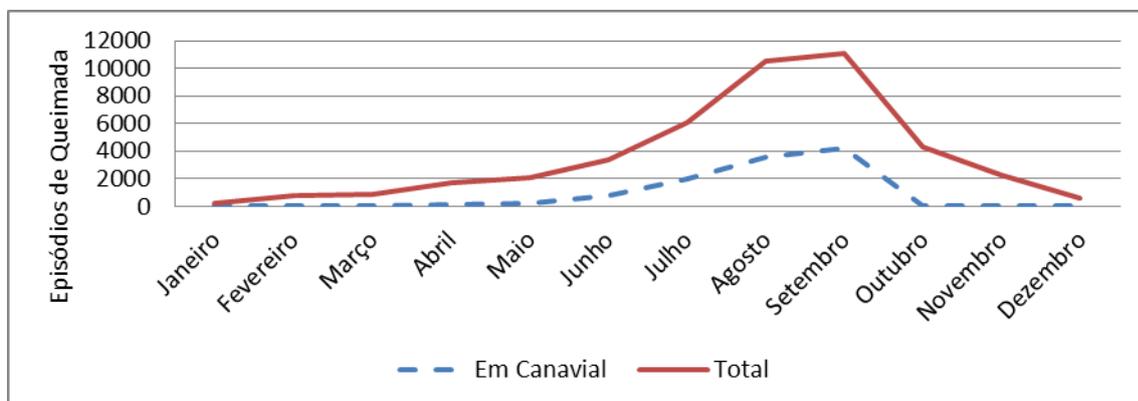




Gráfico 02. Ciclo sazonal do número de queimadas no estado de São Paulo, em 2010.  
Fonte dos dados: INPE (ano)

Observando a contribuição significativa da queima da cana em relação ao total de queimadas ocorridas no estado de São Paulo, supõe-se que a concentração de  $MP_{10}$  gerada pela queima da cana deva ser proporcional ao valor total do estado, além de depender da circulação atmosférica durante o período do evento. Como não há um número razoável de estações de monitoramento, a modelagem atmosférica apresenta-se como a mais viável ferramenta para se analisar a dispersão da poluição. Neste estudo foi utilizado o modelo regional CCATT-BRAMS (FREITAS, *et al.*, 2009).

Os períodos selecionados para análise das simulações realizadas pelo modelo BRAMS em relação às concentrações dos poluentes atmosféricos foram definidos de acordo com as taxas mais altas de  $MP_{10}$  observadas nas estações da CETESB. Foram escolhidas duas semanas, de 14 a 20 de junho e de 21 a 27 de setembro de 2010. No primeiro período selecionado, ocorreu a segunda maior marca de poluição por material particulado registrada no ano de 2010 e no segundo período ocorreu a maior taxa do ano. Em ambas as ocasiões havia a aproximação de uma frente fria no estado.

Nos dois casos, verifica-se que a poluição atmosférica gerada pela queima de cana segue a circulação atmosférica, e que em todos os horários vai de oeste para leste sobre o estado de São Paulo, durante o primeiro período (16 e 17 de junho de 2010). Durante o primeiro período, a convergência mais predominante refere-se à convergência causada pela passagem de uma frente fria. Nos últimos horários do primeiro período houve uma mudança de direção do vento. No segundo período analisado, 24 de setembro de 2010, o  $MP_{2,5}$  segue também a circulação regional, sendo levado de sul para norte, convergindo primeiramente sobre o sul do estado de Goiás e posteriormente sobre o sul de Minas Gerais.

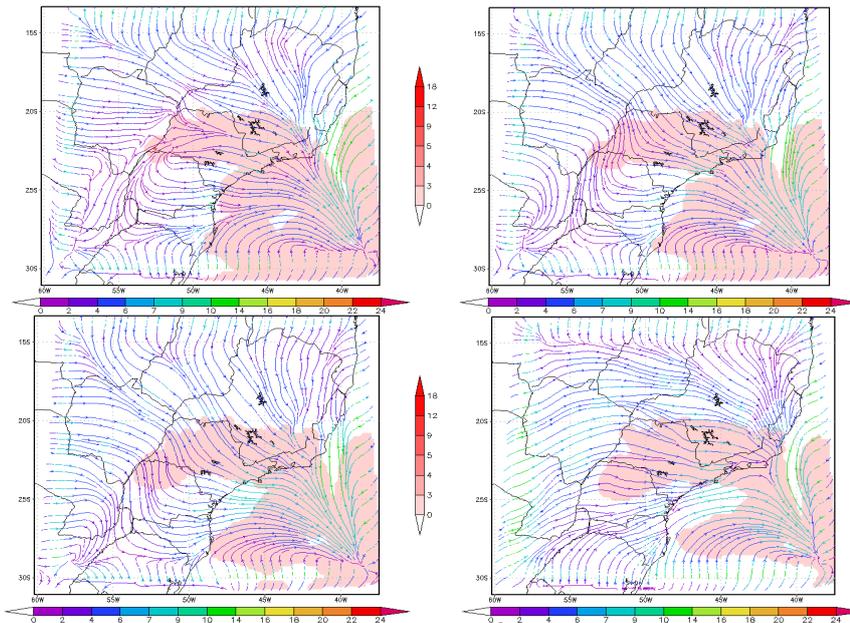


Figura 02: Diferença da concentração de  $MP_{2.5}$  ( $\mu g m^{-3}$ ) entre os experimentos com e sem queima de cana no estado de São Paulo, para as 00, 06, 12 e 18 horas, do dia 16/jun/2010. É mostrada a circulação atmosférica característica de cada horário através das linhas de corrente em 10 metros, respectivamente esquerda para direita, cima e baixo.

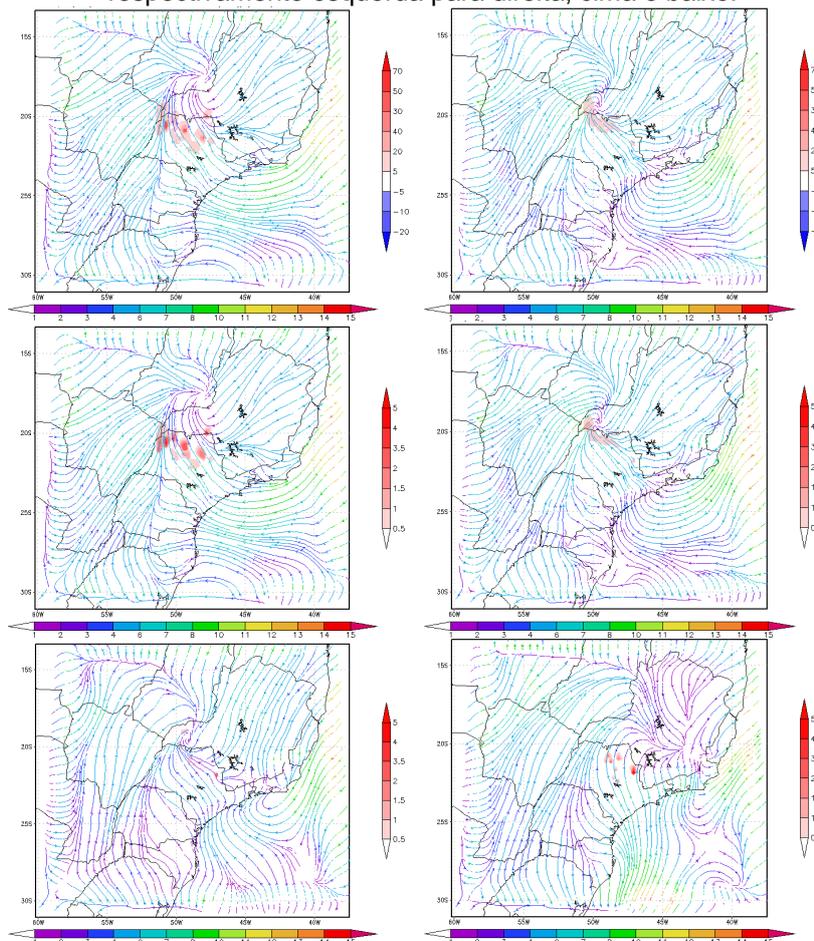


Figura 03: Idem à figura 2, mas para o as 00, 06, 12 e 18 horas, do dia 24/set/2010.



#### 4 – Conclusões

As queimadas de biomassa pioram da qualidade de vida e está atrelada às maiores frequências de problemas de saúde respiratória dos habitantes que moram nas proximidades das áreas produtoras, principalmente (ARBEX, 2001).

A migração de poluentes, principalmente de material particulado, analisado nesse estudo migra sim, para a região metropolitana. No entanto, não é com uma concentração suficientemente forte para causar transtornos, comparado às que já se concentram nas grandes cidades (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 2010).

Os cidadãos não são os únicos responsáveis pelo ar sujo que respiram, mas são os principais. Essa pluma de poluentes que atravessou os maiores centros urbanos do país aconteceu em uma condição sinótica especial de chegada de frente fria, e em concentração baixa. Sendo assim, não causaria potenciais danos aos residentes urbanos, uma vez que geralmente ela é seguida de precipitação, que lava a atmosfera.

Porém como aconteceu no final do outono no primeiro caso (junho) a época seca impede que a atmosfera se limpe e isso potencializa o espalhamento desses poluentes.

Apesar de não apresentar índices alarmantes na região metropolitana, segundo os parâmetros da CETESB, a população local é afetada com a fumaça e fuligem das queimas, logo, esse procedimento deve ser combatido ou mitigado, afim de que não se contamine as bacias aéreas.

#### 5 - Referências Bibliográficas

ARBEX, A. M. et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, 30, Mar-Abr 2004. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-37132004000200015&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132004000200015&lang=pt).

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.

BARROCAS, R. **A queimada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: o exemplo de Iracemópolis**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.



BIODIESELBR. Nova Cana. **ProÁlcool - História da indústria sucroalcooeira**, 2014. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooeira.htm>>. Acesso em: 28/05/2014.

CANÇADO, J. E. D. et al. The impact of sugar cane–burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, p. 725-729, maio 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade do Ar 2010**. CETESB. São Paulo. 2010.

FARIELLO, D.; OLIVEIRA, E. A um triz do racionamento. **O Globo**, Rio de Janeiro, 03 Setembro 2012. 17.

FONSECA, R. . M. D. S. **Hands-on Guide: CCATT-BRAMS**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cachoeira Paulista. 2012.

FREITAS, S. *et al.* Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 53, 2005. 17-185.

FREITAS, S.; LONGO, K. M.; RODRIGUES, L. F. Modelagem numérica da composição química da atmosfera e seus impactos no tempo, clima e qualidade do ar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, p. 188-207, fev. 2009. Disponível em: <[http://scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862009000200008&lng=en&nrm=iso](http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862009000200008&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 23 fev. 2013.

GONTIJO, G. A. B. *et al.* Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de sensoriamento remoto. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, abr-mai 2011. 7966-7973. Disponível em: <http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1587.pdf>.

IBGE. **Censo agropecuário**. IBGE. Rio de Janeiro. 2006.

INMET. Normais climatológicas 1961-1990, São Paulo, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS / CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Monitoramento do transporte de poluição antropogênica e de queimada na América do Sul**, 1999. Disponível em: <[http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo\\_cattbrams.php?lang=pt](http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo_cattbrams.php?lang=pt)>. Acesso em: 12 fev. 2010.

LONGO, K. M. et al. 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. **CCAT-BRAMS**, 1999.



Disponível em: <<http://brams.cptec.inpe.br/papers/catt-brams-paper2.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2010.

PROGRAMA CANASAT. CANASAT. **Monitoramento da cana-de-açúcar**, 2003. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>>. Acesso em: 2011.

ROSETTO, R. Embrapa. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2010. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_93\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_93_22122006154841.html)>. Acesso em: 29 maio 2014.

SAULO, F.; LONGO, K. M.; RODRIGUES, L. F. Modelagem numérica da composição química da atmosfera e seus impactos no tempo, clima e qualidade do ar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, jun. 2009. 188-207.

TAQUES, P. História da Capitania de São Vicente. **Domínio Público**, 2003. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/sf000043.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2014.

TEIXEIRA, E. T.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Quim. Nova**, 31, 19 dez 2007. 244-248. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n2/a10v31n2.pdf>.

WAGNER, M. N. L. **O amargo doce da cana - entorno do enfoque da sustentabilidade do desenvolvimento**. Alagoas: EDUFAL, 2000.

ZANCUL, A. **O efeito da queimada de cana-de-açúcar na qualidade do ar na região de Araraquara**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1998.