UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

THIAGO SOUZA SILVEIRA

**Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas
de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo**

São Paulo

2014

SILVEIRA THIAGO	Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo		São Paulo 2014
-----------------	--	--	-------------------

THIAGO SOUZA SILVEIRA

**Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas
de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em
Geografia Física

Área de Concentração:
Climatologia Geográfica

Orientadora: Profa. Dra.
Maria Elisa Siqueira Silva

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Serviço de Documentação Bibliotecária

Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo

Silveira, Thiago Souza.

Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo / Thiago Souza Silveira ; orientadora Maria Elisa Siqueira Silva. - São Paulo, 2014.

179 f. : il.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade de São Paulo, 2014.

1. Poluição Atmosférica. 2. Transporte de Poluentes. 3. Cana-de-açúcar. 4. Queimadas. I. Silveira, Thiago Souza II. Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo

Nome: SILVEIRA, Thiago Souza

Título: Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Geografia Física

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Dedico esse trabalho à
família Silveira e àqueles que
se esforçaram na minha
educação e na construção dos
meus valores.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade concedida e por permitir iniciar e terminar o trabalho sem grandes problemas de razões pessoais ou de saúde.

Aos meus pais, Valmir e Margarida, e minha irmã Thaís, pelo apoio incondicional aos meus estudos, mesmo nos momentos mais críticos, e pelos valores dados que são seguidos rigorosamente.

À querida Dani, companheira de todos os momentos, por ter acreditado em mim todo o tempo, ajudado desde a concepção até o final desse projeto, por ter estado presente em todos os passos da minha vida pessoal nos últimos quatro felizes anos. Pela elaboração de toda a logística para estar em São Paulo e para a melhor adaptação possível. Por quem eu tenho uma grande dívida por tanta ajuda dada nesses últimos anos.

Agradeço à Prof. Dr.^a Maria Elisa por apostar num garoto vindo de longe com um grande sonho, pela generosidade nas oportunidades durante o mestrado e pela relação ao longo desses últimos três anos.

Ao amigo e Prof. Dr. Gabriel Pereira, que tenho como referência desde a graduação e com quem tive a oportunidade de trabalhar nesses últimos anos. Obrigado por ter feito esse projeto possível. E à Doutora Francielle Cardozo pela amizade e confiança.

À senhorita Patrícia Hamamoto, na ajuda com o gerenciamento dos dados, das quase 500.000 amostras de qualidade do ar.

À amiga Camila Machado, pela atenção, revisões, soluções práticas nos problemas de dia-a-dia e tornar o ambiente do prédio que moramos tão agradável. Assim como à Sra. Ana Yamamoto, por manter o prédio com boas companhias, impecável e por nos dar atenção sempre, o que ajudou de forma fundamental na adaptação à nova cidade.

Ao LCB (Laboratório de Climatologia e Biogeografia) da Universidade de São Paulo, pela companhia, estrutura, suporte e apoio. Aos professores por me tornarem um verdadeiro cientista e, em especial, ao geógrafo e professor Rogério Rozolen Alves, pela amizade.

À equipe de Geografia do Colégio Pedro II – Unidade Engenho Novo pela ajuda durante o período da licenciatura e à empresa Kbizz – *Knowledge Business* por todo subsídio e compreensão em investir na minha carreira acadêmica.

Aos senhores Fellipe “Bolinho” Figueiredo e o Fernando “Fino” Moreira pela ajuda na concepção e apoio na execução do projeto, além da informação sobre tudo o que acontecia na minha terra natal.

Aos amigos de infância Brunno Alves e Julio Magalhães ao me lembrar de voltar para casa e que de vez em quando é necessária uma pausa para respirar.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa e oportunidade oferecida.

*“Planejamento de longo prazo
não lida com decisões futuras,
mas com o futuro de decisões
presentes.”*

Peter Drucker

RESUMO

SILVEIRA, T. S. **Poluição Atmosférica Derivada de Queimadas de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo**. 2014. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

O presente trabalho teve como objetivo a análise do transporte de poluentes atmosféricos gerados na queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo durante o ano de 2010, pois a cultura canavieira no estado é muito forte, abastecendo o mercado alimentício, energético e de bebidas. Porém, apresenta um grave problema com a queima da plantação antes da colheita, gerando poluição e enfraquecendo o argumento de “energia limpa”. Baseado nas teorias: dos Sistemas e dos Geossistemas, na dinâmica atmosférica e no uso de modelagem como instrumento de análise; além do levantamento dos dados atmosféricos e de poluição aferidos, mapeamento da área e das queimadas, concluiu-se que há áreas com picos de poluição ao longo do ano; a pluma de poluentes normalmente vai para outros estados como Minas Gerais e Mato Grosso do Sul e ocorreram eventos generalizados de queima de biomassa, principalmente entre agosto e setembro, porém com a mudança na direção do vento, geralmente quando está prestes a chegar uma frente fria, quando esses poluentes são direcionados para a Região Metropolitana de São Paulo e Campinas; confirmando a hipótese observando a distribuição e concentração de poluentes segundo os dados de circulação atmosférica e de poluição.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Transporte de Poluentes. Cana-de-açúcar. Queimadas.

ABSTRACT

SILVEIRA, T. S. Air Pollution Derivate from Sugarcane Burning in Sao Paulo State. 2014. 179 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

This study has the objective to analyze the air pollution transport from sugarcane burn in Sao Paulo State in 2010, as the planted areas are very vast, it supplies the food, energy and beverage industry. By the other hand, it presents severe problem of burning culture before the harvest period, it causes air pollution and disqualify the “clean energy” argument. Based on the System and Geosystem theories, on atmospheric dynamic and using models as analysis instrument; in addiction getting atmospheric and pollution data observed, mapping sugarcane and the burned area, it was concluded there were parts with peaks of pollution during this year, the plume of pollutants normally are transported to other States as Minas Gerais and Mato Grosso do Sul and also there were several and generalized events of biomass burn principally in August and September, despite the wind change generally when it is upcoming a cold front, those pollutants are directed to Metropolitan Region of Sao Paulo and Campinas; confirming the hypothesis observing the concentration and distribution of them by the air circulation and pollutants data.

Keywords: Air Pollution. Pollutant transport. Sugarcane. Biomass burning.

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas	19
Gráfico 2. Número de carros novos vendidos, de acordo com o combustível, para o período de 1979 a 2009	28
Gráfico 3: Comparação de consumo de combustível entre 2000 e 2012 em Barris Equivalentes ao Petróleo (bep)	36
Gráfico 4. Número de amostras classificadas com qualidade do ar, referente à concentração de monóxido de carbono, como BOA, REGULAR ou INADEQUADA, tal como normatizado pela CETESB, em CETESB (2010)	48
Gráfico 5. Emissão mensal acumulada de monóxido de carbono (ppm) observada nas estações, em São Paulo em 2010.....	49
Gráfico 6. Número de amostras horárias para cada estação do estado de São Paulo, para o ano de 2010	50
Gráfico 7. Emissão mensal acumulada de MP_{10} ($\mu g\ m^{-3}$) observada, em São Paulo em 2010.	51
Gráfico 8. Número de ultrapassagem horária, em 2010, dos limites toleráveis de qualidade do ar relativamente ao MP_{10} , tal como estabelecido pela CETESB	52
Gráfico 9. Quantidade de horas (%) com qualidade do ar, referente à concentração de MP_{10} , BOA, REGULAR e INADEQUADA, durante os períodos do dia madrugada, manhã, tarde e noite, em 2010, no estado de São Paulo	54
Gráfico 10. Quantidade de horas (%) com qualidade do ar, referente à concentração de CO, BOA, REGULAR e INADEQUADA, durante os períodos do dia madrugada, manhã, tarde e noite, em 2010, no estado de São Paulo	54
Gráfico 11. Valor médio e absoluto da concentração mensal de CO em 2010	56
Gráfico 12: Normais Climatológicas 1961-1990 sobre precipitação em todo estado de São Paulo	57
Gráfico 13. Valores de material particulado mensal para 2010	58

Gráfico 14. Valores de material particulado mensal entre municípios rurais para 2010.....	61
Gráfico 15: Valor máximo absoluto mensal de MP ₁₀ (µg m-3), em 2010, em Marília, Ribeirão Preto e São José dos Campos	66
Gráfico 16: Valor máximo absoluto mensal de MP ₁₀ (µg m-3), em 2010, em Bauru, Jaú e São José dos Campos	67
Gráfico 17: Valor máximo absoluto mensal de MP ₁₀ (µg m-3), em 2010, em Catanduva, Cubatão – Centro e São José do Rio Preto	68
Gráfico 18: Valor máximo absoluto mensal de MP ₁₀ (µg m-3), em 2010, em Cubatão - Centro, Marília e Piracicaba.....	69
Gráfico 19: Análise Rítmica de junho de 2010	104
Gráfico 20: Análise Rítmica de setembro de 2010	105
Gráfico 21. Episódios mensais de queimada detectadas por satélite em 2010	107
Gráfico 22. Episódios totais de queimada detectada por satélite em agosto de 2010.....	107
Gráfico 23. Episódios totais de queimada detectada por satélite em setembro de 2010.....	108
Gráfico 24. Episódios de incêndios detectados apenas em canavial, em setembro de 2010.....	108
Gráfico 25. Locais de queimadas no estado de São Paulo em 2010	108

Lista de Imagens de Satélite

Imagem 1. Satélite Goes-12, T-realçada de 14 a 17/Jun/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de CO.....	73
Imagem 2. Satélite Goes-12, T-realçada de 18 a 20/Jun/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de CO.....	74
Imagem 3. Satélite Goes-12 realçada de 21 a 24/Set/2010 para as 00h (abaixo). Atuação de célula nuvens baixas sobre SP, ocasionando a máxima de MP ₁₀	88
Imagem 4. Satélite Goes-12 realçada de 25 a 27/Set/2010 para as 00h (abaixo). Atuação de célula nuvens baixas sobre SP, ocasionando a máxima de MP ₁₀	89
Imagem 5: Imagem de satélite (direita) GOES-12 realçada de 11/set/2010 às 12 horas.....	111
Imagem 6: Imagem de satélite (direita) GOES-12 realçada de 24/set/2010 às 00 hora	113

Lista de Quadros

Quadro 1: Emissão de poluentes segundo o combustível e o veículo, (*) não determinado.....	22
Quadro 2. Rendimento médio segundo a forma de colheita (Adaptado pelo autor)	29
Quadro 3. Custo x Produção de cana e Investimento x Tempo – R\$ 622,00 é aproximadamente 1 salário mínimo nacional de 2012.....	30
Quadro 4: Comparação entre pontos positivos e negativos apontados por Conejero e Neves (2010) e Wagner (2000)	35
Quadro 5. Classificação da CETESB à época segundo os níveis de poluição por CO e MP ₁₀	38
Quadro 6. Datas selecionadas para análise dos dados observados pela CETESB	40
Quadro 7. Comparativo dos poluentes analisados em números absolutos.....	54

Lista de Mapas e Pranchas

Mapa 1. Localização das estações CETESB para o Interior e o Litoral	44
Mapa 2. Localização das estações CETESB para a cidade e Região Metropolitana de São Paulo	45
Mapa 3. Localização das estações CETESB segundo os poluentes verificados	46
Mapa 4. Qualidade do ar em relação ao valor máximo absoluto mensal da concentração de CO ($\mu\text{g m}^{-3}$), observada em 2010.....	63
Mapa 5. Qualidade do ar em relação ao valor máximo absoluto mensal da concentração de MP ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$), observada em 2010	64
Mapa 6: Carta Sinótica (esquerda) de 11/set/2010 às 12 horas	110
Mapa 7: Carta Sinótica (esquerda) de 23/set/2010 às 00 hora	113
Mapa 8: Carta Sinótica (meio) de 24/set/2010 às 12 horas	113
Mapa 9: Mapa dos focos de incêndios no estado de São Paulo em 2010	115
Mapa 10: Mapa de queimadas e em áreas de colheitas de cana-de-açúcar em 2010.....	116
Mapa 11: Mapa densidade de queimadas e áreas de colheitas de cana-de- açúcar em 2010	117
Mapa 12: Quantidade mensal de incêndios detectados em áreas de colheitas de cana, em 2010.	118
 Prancha de Croquis 1. Carta sinótica e modelo CCATT-BRAMS representando a condição atmosférica e a pluma de poluentes de 18/Ago/2009	18
Prancha de Croquis 2: Expansão da área plantada entre 2006 a 2011 para o estado de São Paulo com e sem queimada (adaptado)	20
Prancha de Croquis 3. Situação atmosférica no continente quando ocorreu o máximo de CO em 2010.....	75
Prancha de Croquis 4. Situação atmosférica em SP quando ocorreu o máximo de CO em 2010	76

Prancha de Croquis 5. Evolução cronológica da temperatura em superfície em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO. Linha tracejada indica 16°C	77
Prancha de Croquis 6. Evolução temporal dos ventos em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	78
Prancha de Croquis 7. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	79
Prancha de Croquis 8. Evolução temporal dos ventos em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	80
Prancha de Croquis 9. Evolução temporal da divergência de ventos em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	81
Prancha de Croquis 10. Evolução temporal dos ventos em SP em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 06h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO	82
Prancha de Croquis 11. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 850 hPa em 06 (a) e 12h (b) do dia 16/06, 00 (c) e 12h (d) do dia 17/06 e 06h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	83
Prancha de Croquis 12. Evolução temporal dos ventos em SP em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO	84
Prancha de Croquis 13. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO.....	85
Prancha de Croquis 14. Situação atmosférica no continente em máximo de MP ₁₀ em 2010.....	90
Prancha de Croquis 15. Situação atmosférica em SP quando ocorreu o máximo de MP ₁₀ em 2010.....	91

Prancha de Croquis 16. Evolução cronológica da temperatura em superfície em 00 (a) e 12h (b) do dia 23/09, 00 (c) e 06h (d) do dia 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀ . Linha tracejada indica 16°C.....	92
Prancha de Croquis 17. Evolução temporal dos ventos em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	93
Prancha de Croquis 18. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	94
Prancha de Croquis 19. Evolução temporal dos ventos em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18 (e) em 25/09 e 00h (f) de 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	95
Prancha de Croquis 20. Evolução temporal da divergência de ventos em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	96
Prancha de Croquis 21. Evolução temporal dos ventos em SP em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	97
Prancha de Croquis 22. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em SP em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	98
Prancha de Croquis 23. Evolução temporal dos ventos em SP em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09 e 18 (e) e 00h (f) em 25/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	99
Prancha de Croquis 24. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09 e 18 (e) e 00h (f) em 25/09/2010 durante o máximo de MP ₁₀	100
Prancha de Croquis 25. Situação topográfica da América do Sul e de parte da região sudeste	101

LISTA DE SIGLAS

BC	Banco Central
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	Compostos orgânicos voláteis
CTA	Centro de Tecnologia da Aeronáutica
GFC	Espectrofotometria de Infravermelho Não Dispersivo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MP	Material particulado
MP ₁₀	Material particulado menor que 10µm
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo

Sumário

1. Introdução	16
2. Hipótese	17
3. Objetivo	18
4. Justificativa do trabalho	19
5. Referencial teórico-conceitual	23
6. A Importância geográfica do estudo e sua contextualização	24
7. A cadeia de produção da cana	31
8. Dados e métodos	37
9. Resultados.....	43
9.1. Observações de CO e MP ₁₀ – rede da CETESB.....	43
9.2. Monóxido de Carbono.....	55
9.3. Material Particulado	57
9.4. Localização geográfica das emissões de CO e MP ₁₀	62
9.5. A concentração de MP ₁₀ entre municípios de diferentes perfis.....	65
9.6. Condição sinótica nos períodos de máxima concentração de CO e MP ₁₀ no estado de São Paulo.....	69
9.7. Análise Rítmica dos Máximos de CO e MP ₁₀	102
9.8. Focos de queimada	106
9.9. Análise sinótica para os meses de agosto e setembro de 2010	109
9.10. Análise sazonal de CO e MP ₁₀	114
10. Conclusões	119
11. Referências bibliográficas	121
Anexos	127
Anexo A – Gráficos de Pontos de MP ₁₀ por Tempo e por Município	128
Anexo B – Gráficos de Cada Estação para MP ₁₀ e CO	135
Anexo C – Prancha de Croquis – Situação Atmosférica Modelo ETA	163
Anexo D – Boletins Técnico Meteorológico – CPTEC / INPE	171

1. Introdução

A abordagem da problemática da poluição envolve diversos campos do conhecimento, como a geografia, economia, agronomia, saúde pública e história. Esses campos também devem ser considerados no sentido de gerar o arcabouço necessário para a ancoragem e aprofundamento da discussão climatológica. Sem o empréstimo dessas outras áreas do conhecimento não haveria aplicação mais abrangente dos impactos da poluição na sociedade e na natureza.

O problema da poluição do ar surge juntamente com o início da industrialização das cidades no século XVIII. A poluição foi, durante muitos anos, sinônimo de progresso e crescimento econômico, mas pode ser vista também como o estopim para desenvolvimento de doenças para o homem e para o ambiente. Atualmente, a sociedade encontra-se mais consciente sobre os problemas advindos da poluição ambiental e tem desenvolvido um conjunto de leis com intuito de mitigar os efeitos colaterais da poluição e promover a produção (BRANDÃO, 1992).

Palavras-chave como “produção”, “legislação”, “economia”, “saúde”, fazem parte da discussão sobre poluição atmosférica e o quanto ela afeta nosso cotidiano. Ao mesmo tempo, nelas se debruçam ideologias, métodos de produção e política, tornando-se um tema bastante amplo e também geográfico.

As grandes cidades eram apontadas como responsáveis por terem a qualidade do ar deteriorada, por conta das suas atividades, da aglomeração de pessoas e construções. No entanto, a contribuição para a deterioração da qualidade do ar não advém apenas dos grandes centros; mas também, por exemplo, no cultivo da cana, onde há o processo de queima da cultura para colheita.

O estado de São Paulo, sendo o maior produtor de cana do país, com mais de 240 milhões de toneladas produzidas, gera mais de 11 bilhões de reais em apenas 20.512 fazendas (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006), torna-se potencialmente o maior poluidor do ar pela queima da cana.

No ano de 2010 em São Paulo, foram mais de 5 milhões de hectares de terras cultivadas com cana, quase o tamanho da Costa Rica. Com esses

números tão impressionantes, deve-se pensar também nos impactos da atividade para a população, seja a próxima ou a mais distante. Por isso, investiga-se aqui se a poluição gerada nos canaviais pode ser transportada para a Região Metropolitana de São Paulo, piorando, assim, a qualidade do ar dessa área.

A possibilidade de observar e modelar¹ em computador para onde são transportados esses gases de poluição emitidos na queima do canavial é importante para o controle da saúde da população. Além das tomadas de decisão pelas autoridades, órgãos de fiscalização, bem como, para que os produtores e a própria população possam conhecer os locais em que há possibilidade de ser afetado caso haja uma queima da cana em excesso.

Pautada nesses argumentos, essa pesquisa climatológica utilizará recursos e ferramentas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto, além do embasamento histórico, econômico e social da cultura canavieira para procurar razões para a emissão ostensiva e o transporte de poluentes como o monóxido de carbono (CO) e o material particulado (MP₁₀)² provenientes da queima do vegetal estudado e traçar sua trajetória preferencial no continente.

2. Hipótese

Observando a geografia do estado de São Paulo, percebe-se uma grande vocação de atividades agrícolas e urbanas para essa unidade da Federação (IBGE, 2010). Essa interação e o modo como são realizados os procedimentos de plantio, em específico da cana-de-açúcar, levam a pensar que as queimas que ocorrem nas fazendas podem ser transportadas para a área urbana e piorar a qualidade do ar nas Regiões Metropolitanas (São Paulo e Campinas). Salienta-se que a época de mais queimadas é em agosto e setembro, período de entrada de frentes frias do sul e sudoeste de São Paulo (FRANÇA, 1946) e as plantações se encontram a oeste, norte e nordeste. Caso isso seja comprovado, isso acarretaria em repensar programas ambientais e de qualidade do ar, além das medidas políticas voltadas para mitigação da poluição urbana, como o rodízio de carros em São Paulo.

¹ Simular aproximadamente a realidade.

² Material Particulado com diâmetro menor que 10µm.

Os indícios para essa hipótese aparecem quando são verificadas as cartas sinóticas da Marinha do Brasil e as previsões de poluição do ar do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – (Prancha de Croquis 1), onde evidenciam um corredor de poluentes ligando o interior do estado às regiões metropolitanas.

Se o sentido da poluição do ar, mostrada pelo INPE estiver certa, pode-se pensar que haveria uma fonte de poluição significativa no interior de São Paulo. A informação foi confirmada segundo o programa “Cidades@” do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde o interior possui uma grande área produtora de cana-de-açúcar, onde se observa queima de biomassa, mostrada na prancha de croquis 2.

Prancha de Croquis 1. Carta sinótica e modelo CCATT-BRAMS representando a condição atmosférica e a pluma de poluentes de 18/Ago/2009
Fonte dos dados: Marinha do Brasil e CPTEC / INPE.

3. Objetivo

Esta pesquisa tem por objetivo verificar a sazonalidade de poluentes atmosféricos, CO e MP₁₀, originados pela queima de canaviais no estado de São Paulo, em 2010, em situações sinóticas distintas.

4. Justificativa do trabalho

A cultura canavieira no Brasil se originou no período colonial, contribuindo para a tradição brasileira na agricultura e pecuária, que rende ao Brasil o posto de “celeiro do mundo”, tornando-o um dos maiores exportadores mundiais de alimentos e trazendo muitas divisas ao Brasil. Com a grande importância do setor primário, os grandes produtores detêm influência sobre a economia e política do país. O Brasil lidera a produção global de cana-de-açúcar (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2011), seguido por Índia e China, e também possui a maior área plantada, tal como ilustrado no gráfico 1 e que está em franca expansão (Prancha de Croquis 2).

Gráfico 1. Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas

Fonte: Anuário Estatístico de Agroenergia 2012 – Min. Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Prancha de Croquis 2: Expansão da área plantada entre 2006 a 2011 para o estado de São Paulo com e sem queimada (adaptado)
 Fonte: CANASAT / INPE (2013)

O modo de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil não mudou muito desde a colônia, pelo menos com relação aos processos envolvidos para o plantio e colheita (CAVALCANTE, 2011). A etapa que mais chama atenção para a pesquisa climatológica é a da queima do canavial para posterior colheita.

Nessa etapa há uma emissão muito grande de poluentes para a atmosfera, seja de material particulado de diversos tamanhos, ou de gases nocivos à saúde, como o monóxido de carbono e componentes orgânicos voláteis (cetonas, aldeídos e hidrocarbonetos leves), além do dióxido de carbono (BARROCAS, 2001). Uma vez liberada na atmosfera, a poluição é guiada pelo escoamento atmosférico preferencial e ocorre de acordo com as condições atmosféricas reinantes (ALMEIDA, 2001) (GALLOWAY, *et al.*, 1982) (HILL, 1997).

O CO é um gás que se acumula nas hemácias e impede que ocorra a troca de dióxido de carbono (CO₂) por oxigênio. No corpo humano a molécula de CO, quando inalada, acompanha a hemácia por toda a sua vida e só é excretada pelo fígado e baço quando esta é metabolizada, muitos dias depois. Isso causa sobrecarga desses órgãos e pode provocar anemia crônica em casos extremos e óbito em casos muito extremos ou em pessoas já vulneráveis³.

O MP₁₀ pode prejudicar as vias respiratórias e sua emissão é muito comum na queima inadequada de combustíveis e de biomassa. Ele reduz a capacidade pulmonar, a condição física, além de agravar problemas de saúde já existentes. A queda de rendimento físico é sentida principalmente em atletas de alta performance⁴.

Outros gases emanados da queima de biomassa, como os Compostos Orgânicos Voláteis (COV), não possuem aferição muito ampla pela rede da CETESB e são de difícil detecção por outros instrumentos (como os espectrômetros orbitais que fornecem imagens de satélite), portanto não foram abordados nesta análise.

³ Sistema Circulatório e Linfático - <http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/apost-fisiol-parte2.pdf> - acessado em 22/02/2013.

⁴ Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide - http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf - acessado em 22/02/2013.

O raio de ação associado a cada episódio de queimada depende da concentração da emissão da poluição, do tempo e do poder de dispersão da atmosfera (KAWANO, 2003) (HILL, 1997). Queimadas florestais, por exemplo, podem ter grande alcance, prejudicando várias atividades cotidianas, por exemplo a aviação (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2002) e a saúde humana como estudado pelo grupo da professora Maria Helena Ribeiro e do professor Paulo Saldiva da Universidade de São Paulo.

A cultura canavieira possui impactos negativos na região onde atua, porém apresenta também impactos positivos, como geração de renda e empregos (NEVES; CONEJERO, 2010). A relação econômica do mercado de cana e a de trabalho com os empregados da fazenda, em geral temporários, é também objeto de estudo da geografia e terá sua discussão mais aprofundada nos capítulos 6 e 7, respectivamente, sobre a “A importância geográfica do estudo e sua contextualização” e sobre a cadeia de produção da cana.

O governo e os produtores almejam a produção de etanol pronta para larga exportação; caso isso se concretize, o país seria detentor de toda tecnologia de exportação e de toda a cadeia produtiva, sendo um dos únicos com conhecimento integral.

Para isso, o seu argumento principal de que o motor movido a etanol é menos poluente que o movido à gasolina, de fato, como mostrado no quadro 1, segundo Teixeira e colaboradores (2007). Porém o processo anterior, o de colheita da cana, onde há a queima da plantação, anula o fator ecológico do combustível, pois a queima de biomassa é altamente poluidora (COMPILATION OF AIR POLLUTION EMISSION *apud* ZANCUL, 1998).⁵

Poluentes / Combustível	CO	NOx	SOx	R-CHO⁶	MP	HC
Gasolina	129,80	6,75	0,27	0,11	0,75	13,57
Alcool	16,97	1,00	*	0,08	*	2,02
Diesel	35,11	25,64	1,62	*	1,60	5,72
GNV	0,40	0,45	*	$7,4 \times 10^{-5}$	*	0,22
Motos	13,46	0,27	*	*	*	1,92

Quadro 1: Emissão de poluentes segundo o combustível e o veículo, (*) não determinado
Fonte: TEIXEIRA, FELTES e SANTANA (2007)

⁵ United States Environmental Protection Agency – Compilation of Air Pollution Emission Factors, 4th Edition, 1985, vol. I.

⁶ Aldeídos (R-CHO): Substância irritante obtido também da oxidação do etanol (SAFIOTTI, 1968).

O poder político, econômico e tecnológico obtido no processo e na consolidação do domínio desse *know-how* implicaria em incrementar a colocação do país no mundo, pois energia e alimentos são frutos de muitas disputas, sendo bastante cobiçados e tornando-se objeto de estudo para a geopolítica e a geografia econômica.

5. Referencial teórico-conceitual

Para a elaboração dessa pesquisa nos apoiaremos na Teoria dos Sistemas de Ludwig Von Bertalanffy, em especial no que se refere aos sistemas abertos. Esse modelo conceitual permite a interação entre múltiplas variáveis (Bertalanffy, 1968), sendo elas, nesse caso, os processos físicos e dinâmicos, as forças e fluxos que ocorrem na atmosfera e a influência provocada pela superfície terrestre.

A Teoria dos Geossistemas de Sotchava (1977), baseando-se em Bertalanffy, considera um viés mais geográfico da aplicação sistêmica comparado à Teoria dos Sistemas. Ela auxiliará guiando-nos no recorte espacial, classificando o espaço em sistemas menores e hierarquicamente organizados como define o autor.

Com o auxílio da teoria de Monteiro – Teoria e Clima Urbano (1976), desdobrada no livro “Clima Urbano” (2003) – pode-se compreender melhor como ambas correlacionam-se dentro da climatologia geográfica.

Sendo assim, desmembraremos a parte metodológica dentro da teórica fazendo as associações diretamente.

Segundo Bertalanffy, a Teoria Geral dos Sistemas permite a entrada de matéria e energia, a qual irá se transformar, com influência do meio em que está imerso, e resultará em mudanças do seu estado inicial para o final, junto com outras matérias e energias. A atmosfera se encaixa como meio receptor de energia e matéria e agente de transformação dos mesmos. Para essa pesquisa consideraremos materiais particulados menores que 10µm e gases emitidos de zonas canavieiras, que, por sua vez, são fruto de queima e fazem parte de outro sistema, a cadeia produtiva agrícola capitalista. Esse outro sistema está relacionado hierarquicamente com a atmosfera, exatamente como descreve Sotchava (1977) na Teoria dos Geossistemas e da qual esses *inputs*

naturais serão contabilizados e monitorados para saber se afetarão outro geócoro⁷, nesse caso a RMSP.

Como ambos geócoros possuem dimensões distintas, Monteiro auxiliaria quando descreve sobre os tipos de abordagem instrumental e escalar para se agir na investigação climatológica. Por exemplo, no momento de se escolher algum sensor orbital, ou qual interferência de algum fenômeno climático no espaço, além dos fatores de *input* e *output* que devemos considerar e a técnica para poder aferi-las.

6. A Importância geográfica do estudo e sua contextualização

Para a execução inicial desse trabalho, utilizaram-se várias literaturas de outras áreas do conhecimento, pois dada a complexidade da atividade canavieira e da penetração na sociedade, regiões inteiras são movimentadas em torno dela. Por isso, trazer o resultado dessas leituras para a geografia e transformá-las em assunto geográfico tornam-se tarefas cruciais para a fixação do trabalho dentro da ciência geográfica e mais, da geografia física.

Entender o processo de plantio da cana-de-açúcar não basta para um trabalho climatológico, e, principalmente, geográfico, completo. É necessário entender para quê e para quem são produzidos, por que os efeitos colaterais são absorvidos sem resistência da população, por que a indústria canavieira é assim há tantos séculos com pouquíssimas mudanças e como mitigar os efeitos negativos da atividade.

Os primeiros registros de engenhos de cana-de-açúcar datam de 1530, quando Martim Afonso de Souza trouxe as primeiras mudas para o Brasil (CAVALCANTE, 2011). Desde então, o país vive muito ligado à cultura da cana, estampando, inclusive, em moedas na década de 1980, séculos depois das primeiras plantas chegarem.

O país possui excelência no domínio da cultura da cana, sendo um dos maiores produtores mundiais atuais (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012). O posto de líder global de produção

⁷ Estruturas de paisagens diferenciadas umas das outras, nesse caso, o campo e a cidade, porém dentro do mesmo geossistema, como por exemplo, o estado de São Paulo.

veio com o tempo. No início do plantio de cana no Brasil, entre os séculos XVI e XIX, a produção da cana-de-açúcar era feita pelos senhores de engenho, que também detinham o poder político colonial. Desde essa época, terra, cana e política movem-se em um círculo vicioso de poder da posse da terra, monetário e, também, político da região. Evidentemente, esse modelo social promoveu a desigualdade social e reforçou o poder dos colonizadores, atingindo o objetivo da metrópole – Portugal (BRANDÃO, 1985). Atualmente, os efeitos dessas medidas são também assuntos estudados na geografia.

O Brasil não mudou muito a sua configuração social desde a colônia; ainda hoje temos regiões produtoras onde seus maiores fazendeiros fazem parte do cenário político regional ou nacional. Isso pode influenciar, por exemplo, na aplicação, ou não, de códigos florestais mais rígidos, taxas mais leves de impostos para os produtores, facilitação para conseguir crédito do Governo, ou, em escala mundial, incentivos de exportação dos seus produtos em detrimento de outros ou aprofundar a diferença da distribuição da terra e da renda entre campo e cidade.

Problemas pertencentes aos processos ocorridos no campo e na cidade são muitas vezes estudados de forma quase independente. No estudo da poluição atmosférica, os problemas oriundos do campo e da cidade estão, contudo, fortemente entrelaçados, não somente pelo aspecto físico, uma vez que sistemas atmosféricos se deslocam sobre inúmeras regiões do globo, levando características de um para outro local, mas também pelo cenário político brasileiro. No Brasil, os políticos da “Bancada Ruralista” exercem pressão para que haja mais incentivos e facilitação à produção do setor primário, enquanto que os políticos das áreas urbanas dividem-se entre ambientalistas – almejando uma legislação ambiental mais rígida, e industriais – que solicitam incentivos ao setor secundário.

A política por si não é capaz de justificar a relevância dos produtores de cana; o papel deles na questão econômica e também a questão energética deve ser considerado.

Quanto à atual parte econômica da cana, não se pode explicar sem compreender a situação brasileira a partir da década de 1960 e 1970; quando

ocorria o “milagre econômico” e a crise do petróleo em 1973, que elevou o preço do óleo, prejudicando o fluxo de combustíveis para o Brasil e quase inviabilizou o levantamento de crédito no exterior para que o país conseguisse pagar seus investimentos internos e suas grandes obras de infraestrutura da época, como a ponte Rio-Niterói e a usina hidroelétrica de Itaipu.

A situação crítica pôde ser contornada através de muitos empréstimos feitos em nome de estatais, oferecendo como garantias essas empresas ou seus bens (LEITÃO, 2011). Porém a economia não conseguia mais ser sustentada no final da década de 1970-1980, quando nem as estatais nem o governo do Brasil tinham credibilidade. Nem mesmo a diplomacia com países amigos contribuía para trazer dinheiro para a nação para financiar, a esse ponto, até as despesas mais básicas.

Em uma reportagem dada anos depois ao jornal “O Globo”, no início da década de 1980, por Carlos Langoni, presidente do Banco Central do Brasil à época, sobre a crise do petróleo e o programa Proálcool, ele disse, em tom de muita angústia e certo desespero, que viajou pela Arábia Saudita em 1982, com pedido pessoal do presidente Figueiredo para que não faltasse petróleo para o país, e, após penosas negociações: “O BC [Banco Central] deu uma garantia meramente virtual, porque não tínhamos reservas. Nosso único compromisso era comprar o petróleo deles”, disseram Fariello e Oliveira (2012).

Se não fosse essa missão de Langoni, segundo Fariello e Oliveira (2012), provavelmente teríamos um racionamento de combustível devido à crise que se alastrava, e isso com certeza afetaria a popularidade do governo militar, já agonizante. Devido à crise, existia a ideia de distribuição de cadernetas para os motoristas, onde se registraria a cota de combustível que poderia ser comprada (FARIELLO; OLIVEIRA, 2012).

Com a crise, foi necessário que a PETROBRAS buscasse petróleo em outros locais: na plataforma continental brasileira e em águas profundas. Hoje a empresa é referência mundial na pesquisa e extração de petróleo em grandes profundidades (NETO e COSTA, 2007).

Durante o período entre o primeiro e o segundo choques do petróleo, 1973 e 1979, o Brasil usou todos os seus recursos para amortizar sua dependência do mesmo e lançou mão do seu corpo diplomático para levantar os recursos necessários para continuar os investimentos, pagar seus funcionários e manter-se de pé politicamente (FARIELLO; OLIVEIRA, 2012).

Isso fez com que a dívida externa brasileira aumentasse exponencialmente, por conta dos juros de mercado, que o corpo diplomático se desgastasse devido a compromissos não honrados e, também, aumento da repressão social, para que ficasse tudo em ordem e politicamente controlado, uma vez que o Brasil se encontrava em ditadura militar. Por isso, a missão de Langoni era tão decisiva e os anos de maior repressão aconteceram durante o período de 1968 a 1980 (FARIELLO; OLIVEIRA, 2012).

Ao mesmo tempo, o governo investiu muitos recursos para se identificar uma alternativa ao petróleo e, para isso, foi lançado o programa Proálcool. O etanol poderia servir como combustível alternativo e aliviar a dependência pelo óleo. O Brasil já era o maior produtor mundial de cana, o etanol não exigia muitos investimentos iniciais e era viável economicamente desde que tivesse alguns subsídios (FARIELLO; OLIVEIRA, 2012).

Além disso, a cana sempre foi um símbolo nacional, o Brasil detinha a tecnologia para o plantio; os donos de terra também estavam relacionados com a política, então, caso conseguissem fazer com que o etanol amortizasse o impacto negativo da escassez do petróleo, eles poderiam ter tranquilidade política, econômica e ainda alcançar a aprovação popular. O período era difícil, mas o plano parecia promissor, exceto pelo tempo de desenvolvimento da tecnologia.

Em 1974, no Centro de Tecnologia da Aeronáutica – CTA –, em São José dos Campos, foi desenvolvido o primeiro motor do mundo movido a etanol. O Governo queria colocá-lo logo em produção e garantir estabilidade econômica e política ao país, visto o disparo nos preços dos derivados de petróleo. E, através de muita propaganda, incentivos e apoio logístico da PETROBRAS, garantindo a distribuição do combustível, o carro a álcool se

popularizou (PEREIRA, 2007). Isso deu impulso ao ramo de cana-de-açúcar, o que não se via desde o seu declínio, no século XVIII.

A geração de empregos (apesar da baixa remuneração associada e da alta carga de trabalho), a queda na fiscalização trabalhista, incentivos para produção e aumento de área de plantio, tornaram o “negócio álcool” muito popular. O resultado desta situação foi o disparo da venda dos carros a álcool a partir de 1982, como pode ser observado no gráfico 2.

Gráfico 2. Número de carros novos vendidos, de acordo com o combustível, para o período de 1979 a 2009

Fonte: ANFAVEA – Assoc. Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (2010). Organizado pelo autor

O gráfico 2 ainda mostra a oscilação das vendas de carro durante a década de 1980. Isso se deve aos planos econômicos diversos que fracassaram e à hiperinflação que assolou o país nesses anos (LEITÃO, 2011).

A princípio a população estava afastada do perigo de racionamento de combustível, havia geração de empregos na indústria para a fabricação dos novos motores a álcool e emprego no campo para a colheita da cana (FARIELLO; OLIVEIRA, 2012).

Para o governo, a produção de combustível era questão estratégica muito importante, por isso, havia interesse em derrubar barreiras legislativas e administrativas para que os produtores conseguissem entregar seus produtos o quanto antes. A legislação ambiental foi branda durante muito tempo quanto à

prática de queimadas, sendo negligenciada e só colocada em prática, mesmo que gradualmente, a partir de 2002, indo até 2021 segundo a Lei Estadual 11.241 do Estado de São Paulo. (DIÁRIO OFICIAL DE ESTADO, 2002). Atualmente, 50% e 90% das áreas mecanizáveis e não mecanizáveis, respectivamente, são queimadas (ZANCUL, 1998).

A demora no expurgo completo da prática de queima da cadeia produtiva é de interesse dos produtores. Fazendo uma comparação entre o corte manual e o mecânico com ou sem queima, Almir Zancul (1998) escreve que o corte da cana com queimada e mecanizada é a que gera maior rentabilidade na produtividade (Quadro 2):

Produção	Rendimento Médio (t/homem-dia)
Corte manual com queimada	9,09
Corte manual sem queimada	3,08
Corte mecânico com queimada	32,29
Corte mecânico sem queimada	23,41

Quadro 2. Rendimento médio segundo a forma de colheita (Adaptado pelo autor)
Fonte: Zancul (1998).

Uma máquina destinada à colheita da cana custa em torno de um milhão de reais, segundo a Agrishow (2012) – feira de máquinas agrícolas. É um valor muito alto e sua aquisição exige, na maior parte dos casos, financiamento, seja por empresas públicas ou privadas.

A falta de leis mais rígidas e de segurança financeira contribui para a manutenção da forma da colheita da cana. Desta forma, a queima ainda constitui o caminho mais adotado pelos produtores para garantir a produtividade e a renda. Os que não têm mecanização da colheita contratam trabalhadores volantes, trabalhadores temporários ou boias-frias, como são mais conhecidos.

Os professores José Roberto Novaes e Bernardo Fernandes afirmaram no I Seminário Nacional de Reestruturação no Setor Sucroenergético Brasileiro: novas e velhas especialidades (2012) que a jornada desses trabalhadores temporários é conhecida desde quando essa tarefa era feita pelos escravos negros, do tempo da colônia, não tendo melhorado muito desde então, bem como a técnica de produção. No lugar dos antigos chicotes, agora se encontram as metas exorbitantes e os prêmios humilhantes (como

televisores e bicicletas) para os cortadores que atingirem a meta. Eles continuam relatando que o desgaste de energia dos boias-frias se equipara com a de um maratonista (corredor de mais de 42 km), no entanto, ela é realizada todos os dias.

O professor Novaes também tratou, no mesmo evento, sobre o uso de medicamentos por parte desses trabalhadores para conseguir suportar o desgaste físico. Não seria surpresa se medicamentos mais pesados ou ilegais fossem utilizados para aguentar o esforço diário, assim como os usados pelos caminhoneiros.

Essas práticas assim se apresentam porque há interesse de muitas pessoas, principalmente aquelas com influência no Estado, o qual é responsável pelo zelo da saúde, integridade e também da segurança de todos os cidadãos. Para o próprio Estado também é interessante que se mantenha esse *status quo*, assim garantindo as mesmas pessoas no poder, pois o governo realizou investimentos sem fim para que hoje possamos obter energia através da cana.

Apontando um desses interesses temos o financeiro, o qual alguns cálculos rápidos de custo sobre produção resultaram no quadro 3:

Custo x Produção		
	Homem	Máquina
Queimando	9 T/dia	32,29 T/dia
Sem Queimar	3,8 T/dia	25 T/dia
Custo de Investimento X Tempo		
Homem (cada)	R\$ 622,00 ao mês	25 anos aprox.
Máquina	R\$ 1.000.000	10 anos

Quadro 3. Custo x Produção de cana e Investimento x Tempo – R\$ 622,00 é aproximadamente 1 salário mínimo nacional de 2012

Os dados acima mostram que a máquina possui poder de produção muito maior, apesar do alto investimento inicial na mecanização. Porém esse custo é diluído com o passar dos anos. Uma vez que o trabalhador custará aproximadamente R\$373.300,00, fora os benefícios trabalhistas para o empregado. Reforçando assim a dificuldade e o pesado custo social para se manter o camponês no campo com as grandes inovações tecnológicas no meio rural.

O incômodo da população que vive próximo das fazendas também é grande (BARROCAS, 2001). O odor característico de cana, a fuligem e a fumaça que invadem todos os lugares, todos os dias no final da tarde, adentram a casa das pessoas e prejudicam o ar. Barrocas (2001) mediu a deposição seca de partículas nessas áreas produtoras e concluiu um aumento significativo de fuligem na época da colheita (abril a novembro). Arbex (2001), em sua tese em medicina, publicada no artigo “Queima de Biomassa e Efeitos sobre a Saúde” (2004) e reafirmada em IGNOTTI, *et al.* (2007), concluiu que:

1. Há uma associação causal entre o material particulado decorrente da queima de plantações de cana-de-açúcar e um indicador de morbidade respiratória na cidade de Araraquara.
2. A relação entre poluição atmosférica e efeitos sobre a saúde da população mostrou ter um efeito agudo após curto período de exposição, com um tempo de defasagem de dois dias.
3. A associação causal é dose-dependente.

A indústria da cana de açúcar envolve uma série de mudanças na vida da população que vive próxima a sua produção, na dinâmica regional política e econômica, além de impactar o meio ambiente. Todos esses temas podem ser abordados pela ciência geográfica. No estudo ora apresentado, é dada ênfase ao impacto que as emissões de CO e material particulado originados da queima da cana podem produzir no ambiente.

7. A cadeia de produção da cana

O formato da cadeia produtiva da cana no Brasil é discutido sob muitos pontos de vista, havendo variedades de pensamento, desde os mais protecionistas aos mais liberais. No entanto, o “negócio cana” movimenta aproximadamente 51 bilhões de reais, 1,76% do PIB nacional, gerando 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos (NEVES; CONEJERO, 2010). A queima da palha da cana gera energia equivalente a 3% da matriz elétrica brasileira, fornecendo ao governo cerca de três bilhões de reais em impostos, aplicados do plantio ao consumidor final (NEVES; CONEJERO, 2010). Com esses números expressivos, constitui um setor que não deve ser ignorado.

A cadeia produtiva da cana é feita com a aquisição de mudas numa proporção de 10 toneladas por hectare. Depois de plantada, o primeiro corte é feito entre 12 e 18 meses, denominado de cana planta (ROSETTO, 2010).

O plantio da cana é feito em lotes, ou talhões, classificados da seguinte forma, segundo o INPE (Programa CANASAT, 2003):

- Soca: é a classe de lavouras de cana que já passaram por mais de um corte, ou seja, é a cana que rebrotou de uma planta ou de uma soca. Nesta classe também se encontram as lavouras reformadas com cana planta de ano;
- Reformada: é a classe das lavouras de cana planta de ano-e-meio que foram reformadas no ano safra anterior e que estão disponíveis para colheita na safra corrente;
- Expansão: é a classe de lavouras de cana que pela primeira vez estão disponíveis para colheita. Lavouras de cana que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana também se inserem nesta classe;
- Em reforma: é a classe das lavouras de cana que não serão colhidas devido à reforma com cana planta de ano-e-meio ou por serem destinadas a outro uso. Quando a lavoura da classe "em reforma" é de fato reformada com cana planta de ano-e-meio ela passa para a classe "reformada" no ano safra seguinte.

Todas estas classes representam o total de área cultivada com cana, no entanto, apenas a cana soca, a reformada e a de expansão estão disponíveis para a colheita.

Como qualquer *commodity* do ramo agrícola, o mercado é muito volátil e sofre com variações de preço, seja por quebra de safra ou superprodução. Evidentemente, os produtos derivados, como açúcar e etanol, também sofrem com esta flutuação que, por sua vez, impacta diretamente o custo de vida e as pressões inflacionárias. No entanto, esse problema poderia ser mitigado ou resolvido com estoque regulador, o que não existe e, dessa forma, permite que durante a entressafra ocorram essas oscilações (NEVES; CONEJERO, 2010).

Após o crescimento e o amadurecimento da cana, ocorre a etapa de queima, que serve para desidratar o pé, queimar as folhas e espantar animais peçonhentos. Assim, o produtor retira a água e as folhas do vegetal, lucrando no corte, uma vez que os trabalhadores são pagos pela quantidade em toneladas de cana cortada sem palha, que é de aproximadamente nove toneladas por dia, como citado no quadro 2.

A mecanização da cultura envolve um investimento alto, segundo Neves e Conejero (2010). Completa, envolve uma colheitadeira⁸, dois tratores, quatro caçambas, um veículo bombeiro e oito homens. O trabalho não pode ser totalmente mecanizado, uma vez que são necessários homens para retirar as pedras que estiverem no caminho, pois nenhuma rocha pode entrar no mecanismo da colheitadeira, ou atrapalhar a passagem das máquinas.

A produção gerada pela colheita é enviada às usinas em até 48 horas para que não ocorra a degradação do caule. Nas usinas acontece a moagem e a geração de energia elétrica por termelétricas movidas pela biomassa da cana. Essa energia gerada pode ser vendida para as concessionárias de energia elétrica locais ou alimentar a própria usina.

Após o processo de moagem o “suco” é separado para a fabricação de álcool ou açúcar, onde é preparado o mosto⁹, que se destina a fermentação, fabricação de fertilizante, distribuição do álcool e refino de açúcar. Nas distribuidoras é feita a separação do álcool hidratado (etanol) e do álcool anidro – aquele que é misturado à gasolina. Para a produção de açúcar, o produto ainda passa pela etapa de refino, ou outro processo especial para obtenção do produto final. Apenas uma pequena parte da produção de cana vai para a fabricação da aguardente (NEVES; CONEJERO, 2010).

Durante a fase de plantio e colheita, os trabalhadores não possuem as condições mais seguras de trabalho. Neves e Conejero (2010) relatam dados do Sistema de Comunicação de Acidente de Trabalho, de 2005, que indicam que os canaviais estão classificados, no Brasil, em 491º lugar em relação a doenças geradas pelo trabalho, 150º a mortes, 45º a acidentes e em 29º em relação à incapacidade gerada no trabalho.

Ao mesmo tempo em que a indústria da cana movimenta bilhões de reais com produtos derivados, o governo gasta outros tantos recursos com assistência para essas pessoas, sem contabilizar aqui os trabalhadores que

⁸ Colheitadeira ou colhedeira têm o mesmo sentido, só que a palavra colhedeira pode ser usada com significado de utensílio pequeno pra colher. Colheitadeira diz respeito à máquina de colher utilizada na lavoura.

⁹ ROSSEL, C.E.V. – Etapa da produção entre a decantação e a esterilização para fermentação - Produção de Etanol de Cana-de-açúcar: Qualidade da Matéria-prima – acessado em 22/03/13.

não possuem registro legal, quase a maioria, que ao sofrerem algum tipo de acidente de trabalho não recebem assistência da União.

Obviamente, a atividade canavieira traz impactos para a região, positivos e negativos. Wagner (2000) descreve um pouco da interferência dessa atividade na atual Boca da Mata, interior de Alagoas, município com renda predominantemente vinda da cana desde o século XIX e em decadência a partir de 1970. Ela aponta em seu livro algumas características que podem ser extrapoladas para todas as áreas de plantio de cana, como:

- introdução da monocultura na região;
- monopólio das terras na mão de grandes latifundiários;
- êxodo rural provocado tanto pela mecanização como pela diferença na valorização e logística no manejo da terra entre a que produz cana e a que não produz;
- a diminuição de áreas de plantio de culturas que são essenciais para a dieta básica do brasileiro (como o milho, feijão ou mandioca);
- problemas relacionados à queima da cana;
- desvio de água para alimentar a usina de transformação.

Colocando todos os argumentos lado a lado, pode-se estabelecer uma comparação tanto entre argumentos, como entre os autores:

<i>Conejero e Neves (2010)</i>	<i>Wagner (2000)</i>
Movimentação de 1,76%do PIB	Introdução da monocultura na região
4,5 milhões de empregos	Monopólio das terras na mão de grandes latifundiários
3% da matriz energética	Êxodo rural provocado tanto pela mecanização como pela diferença na valorização e logística no manejo da terra entre a que produz cana e a que não produz
Rende R\$ 3 bilhões em impostos	Problemas relacionados à queima da cana
Brasil é o maior produtor mundial	A diminuição de áreas de plantio de culturas que são essenciais para a dieta básica do brasileiro (como milho, feijão e mandioca)
Atração de indústrias para o interior via agronegócio	Desvio de água para alimentar a usina de transformação

Quadro 4: Comparação entre pontos positivos e negativos apontados por Conejero e Neves (2010) e Wagner (2000)

Esses impactos negativos podem ser evitados ou amenizados, porém o esforço político e financeiro nem sempre são reconhecidos. Os estímulos estatais para financiar ou subsidiar os pequenos produtores, ou regular o ritmo produtivo, mantendo a qualidade e quantidade são muito altos.

Todos os processos da cadeia produtiva da cana, desde seu plantio ao consumo final de seus subprodutos, apresentam grande complexidade de elaboração. Geram muitas divisas, riquezas para alguns, impactos negativos para outros, e polarizam regiões inteiras com relação à reorganização política, social, ambiental e econômica provocada (WAGNER, 2000).

A apresentação dos processos envolvidos na cadeia de produção dos subprodutos da cana qualifica, em parte, a importância desta cultura no Brasil (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2012, p. 31) e no estado de São Paulo (AGÊNCIA PAULISTA DE PROMOÇÃO DE INVESTIMENTOS E COMPETITIVIDADE, 2006). Mesmo com a produção de etanol caindo desde 2009 como mostra o gráfico 3, onde se compara com o consumo de gasolina, em caminho inverso resultado do aumento da frota e de problemas circunstanciais (*a priori*) no setor alcooleiro.

Analisando ainda esse gráfico com o de vendas de carro (Gráfico 2), nota-se que apesar do domínio e expansão dos carros com motor bicomcombustível, há ainda um grande mercado a ser explorado pelos produtores de etanol no sentido de atrair parte dos consumidores de gasolina nos veículos. Lembrando também que área plantada (Prancha de Croquis 2) e a produção (Gráfico 1) vêm aumentando, além do mercado de combustível, ainda parece haver margem para expansão dos outros subprodutos, como o açúcar e aguardente.

Gráfico 3: Comparação de consumo de combustível entre 2000 e 2012 em Barris Equivalentes ao Petróleo (bep)
Fonte: Agência Nacional de Petróleo (ANP).

A discussão sobre os pontos em que a cana influencia a sociedade e a natureza foi feita para dar embasamento especificamente à climatologia geográfica, pois se entende que, para tornar o estudo relevante, ele deva ter alguma importância socioambiental. Assim, conhecer os diversos processos do cultivo da cana, sob muitos pontos-de-vista, torna-se necessário para enfocar a etapa específica de queima da cana, principal intersecção entre a indústria da cana e a climatologia geográfica.

Essa queima que ocorre frequentemente nas fazendas prejudica o meio ambiente e emite fumaça e fuligem para a atmosfera, observando também que o ano de 2010 foi o de segundo maior consumo de etanol da série. A emissão e o monitoramento da pluma que se forma na atmosfera será o objeto deste estudo climatológico.

8. Dados e métodos

A análise do comportamento atmosférico é feita comumente na avaliação de dados observados ou simulados por modelagem numérica. Nessa pesquisa o modelo usado será o modelo regional de reanálise ETA, corroborados com os dados observados de diversas fontes como o INPE, INMET e CETESB.

A modelagem possui vantagens interessantes como a simulação de condições atmosféricas que seriam difíceis se verificar na realidade, como por exemplo, as condições de vento em vários níveis (MARIA, COSTA e SOMBRA, 2008). Ela também leva em conta o uso e cobertura do solo (FONSECA, 2012), portanto, controlando esse fator nas simulações, pode-se aferir se há possível influência dos canaviais sobre a atmosfera.

A comparação dos dados observados e simulados em condições atmosféricas específicas constitui parte do método de análise e foram definidas por períodos em que foram observadas altas concentrações de CO e de material particulado. Os dias de 2010 foram previamente selecionados e podem ser consultados no quadro 6. Com o intuito de se verificar a contribuição efetiva da emissão da queimada na concentração de poluentes atmosféricos, a remoção de informações acerca da queimada no estado de São Paulo é outro aspecto que pode ser explorado com o uso de modelagem numérica.

As informações da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo) referentes aos dados de qualidade do ar formam parte da base da pesquisa. Para a medição de MP_{10} , o método usado é o de radiação beta, de Carbono-14, a qual uma bomba de vácuo capta o ar e para dentro de uma cápsula de aço inox e a energia beta é medida de acordo

com a quantidade de partículas que passam pelo filtro (TORRES e MARTINS, 2005). Já o CO é recolhido pelo método de espectrofotometria de infravermelho não dispersivo (GFC) (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 1999), que é parecido com o de espectrometria de massa, a qual um feixe de luz passa por um orifício e a reflectância medida se refere à quantidade do material aferido¹⁰.

Os dados fornecidos pela CETESB constituem relatórios digitais de valores horários dos poluentes atmosféricos para todas as estações do estado. A localização das estações da CETESB está indicada nos mapas 1 e 2. Além dos dados de CO e material particulado, que deverão ser utilizados nesta pesquisa, a CETESB coloca à disposição dados de dióxido de enxofre, ozônio, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

A classificação da qualidade do ar decorrente do valor amostrado seguiu a orientação da CETESB, à época que, por sua vez, seguiu as normas do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) – publicada em março de 1990, tal como indicado no quadro 5. Salientando que ocorreram mudanças nos critérios a partir de 23 de abril de 2013, através do Decreto Estadual nº 59.113¹¹.

Classificação da CETESB e CONAMA			
CO (ppm)		MP ₁₀ (µg m ⁻³)	
Boa	0 - 4,50	Boa	0 - 50,00
Regular	4,5 - 9	Regular	50 - 150
Inadequada	9 - 15	Inadequada	150 - 250
Má	15 - 30	Má	250 - 420
Péssima	>30,00	Péssima	>420,00

Quadro 5. Classificação da CETESB à época segundo os níveis de poluição por CO e MP₁₀
Fonte dos dados: CETESB (2010)

A CETESB não coloca à disposição as coordenadas geográficas de suas estações de monitoramento, apenas o seu endereço. A identificação das coordenadas geográficas de cada estação foi feita com o uso do *Google Earth®* e *Google Maps®*. Os pontos identificados são apresentados em mapas

¹⁰ Espectrometria de Massas - <http://cebime.paginas.ufsc.br/files/2013/06/Apostila-Espectrometria-de-Massas-D%C3%A9bora-Azevedo.pdf>

¹¹ Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>

elaborados com o auxílio do ArcGIS®. A falta de precisão dos endereços de cada estação gerou alguns limitantes, uma vez que estes nem sempre estavam corretos, havendo conflito entre os bairros assinalados no mapa e aquele informado pela CETESB. Assim, as coordenadas identificadas neste estudo para cada estação podem não ser totalmente precisas. Por outro lado, a possível taxa de erro na localização de cada estação não compromete a proposta dos mapas apresentados, dada a escala de trabalho da pesquisa. Para esse estudo, foram escolhidos os poluentes CO e MP₁₀, pois são prejudiciais à saúde (capítulo 4).

Com base nos dados fornecidos pela CETESB, optamos por escolher as seguintes variáveis em cada estação de medição:

- valor máximo absoluto de CO;
- valor mínimo absoluto de CO;
- média mensal de CO;
- valor máximo absoluto de MP₁₀;
- valor mínimo absoluto de MP₁₀;
- valor médio mensal de MP₁₀;
- segundo maior valor absoluto de MP₁₀.

O último item foi elencado devido a algumas particularidades: proximidade com o maior registro anual de CO (17 de junho) e por aquela ter sido a maior marca de MP₁₀ do ano até então, 16 de junho.

A escolha dos valores extremos de máximos e mínimos e dos valores médios mensais de poluição são critérios trazidos de acordo com a análise rítmica (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003). Desse modo, pode-se avaliar o comportamento atmosférico nas diferentes estações do ano sob condições distintas de vento e precipitação.

A partir dos dias escolhidos segundo o critério citado anteriormente, foi definido o período de uma semana para a análise dos dados, sendo que a data com valor máximo, mínimo e médio do poluente estivesse localizada no centro do período. A escolha da sequência de sete dias está associada ao intervalo médio entre duas passagens consecutivas de um sistema frontal pela região sudeste do Brasil.

Quanto aos sistemas de escalas menores, como os de mesoescala, certamente podem também ser avaliados no período de uma semana. Assim, a escolha desse período é feita com o intuito de garantir a análise atmosférica da região na escala sinótica.

A organização e manipulação dos dados dos poluentes atmosféricos foram feitas com a transferência dos dados da CETESB para tabelas dinâmicas tendo sido posteriormente transformados em gráficos. Os períodos importantes do comportamento atmosférico, selecionados com base nos dados observados encontram-se listadas no quadro 6, das quais serão feitas as análises.

Datas escolhidas para análise				
CO				
Status	Data		Valor (ppm)	Período de Análise
Máxima	17/06/2010	Quinta	10,22	14-20/06/10
Mínima	19/11/2010	Sexta	3,95	16-22/11/10
Média	06/05/2010	Quinta	6,84	03-09/05/10
MP ₁₀				
Status	Data		Valor ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Período de Análise
Máxima	24/09/2010	Sexta	863,42	21-27/09/10
2ªMáx.	16/06/2010	Quarta	638,65	14-20/06/10
Mínima	30/01/2010	Sábado	278,32	27/01 a 02/02/10
Média	08/11/2010	Segunda	570,42	5-11/11/10
Feriados				
25/01 Municipal - Aniversário do Município de SP				
15/11 Nacional - Proclamação da República				
20/11 Grande SP - Consciência Negra				

Quadro 6. Datas selecionadas para análise dos dados observados pela CETESB

Os feriados foram relacionados no quadro 6 porque a vida social, o trânsito, o comércio e as indústrias têm seu funcionamento alterado, o que pode modificar o ritmo de emissões de poluentes para a atmosfera (AZEVEDO, 2001).

O uso de modelos atmosféricos para estudar a atmosfera teve início na década de 1970, levando em conta apenas as equações primitivas prognósticas, como a Lei de Conservação de Energia, a segunda Lei de Newton e a primeira Lei da Termodinâmica (HOLTON, 2004). Ainda hoje,

apesar de enriquecido e mais robusto, a modelagem atmosférica ainda precisa de aperfeiçoamentos, como melhor precisão dos inventários de poluição, do uso e cobertura do solo (SAPUCCI *et al.*, 2010) e o problema do alto custo computacional (informação verbal¹²).

Para esse estudo será usado o modelo de reanálise¹³ do CPTEC, ETA (Modelo de Área Limitada)¹⁴. Os dados a serem analisados são: vento, linha de corrente, temperatura, divergência do ar, velocidade vertical e precipitação. A análise dos dados atmosféricos será feita para os baixos e altos níveis da atmosfera. Através dessas informações, pode-se ter conhecimento com mais detalhe sobre o estado da atmosfera em dois recortes diferentes, um para a América do Sul e outro para o estado de São Paulo.

O Boletim Técnico do CPTEC/INPE¹⁵ deverá ser utilizado para auxiliar as interpretações da atmosfera feitas com base nos dados da análise do modelo ETA.

As informações de queimadas obtidas do INPE constituem uma série temporal da localização das queimadas, com os respectivos horários de ocorrência. Assim, podem-se extrair detalhes sobre as queimadas ao longo do período de interesse. O IBGE e o INPE também fornecem a base cartográfica e os pontos de queimada, o que facilita a elaboração de mapas de ocorrência.

O uso do solo é levantado através do programa CANASAT, que interpreta imagens de satélite e pode delimitar a cultura de cana. O programa fornece não apenas as áreas plantadas com cana, mas também o estágio da plantação segundo seu amadurecimento, expectativa de produção e o tipo de colheita feito, com ou sem queimada. O esquema apresentado a seguir foi feito para ilustrar a metodologia, ligar onde os diversos instrumentos utilizados nesse estudo para ajudar a responder às perguntas dessa pesquisa, expondo-as ao final de cada ramo do fluxograma e procurando apresentar os resultados esperados em cada experimento.

¹² Informação fornecida por Jairo Panetta no curso de Sistema de Modelagem Ambiental CCATT-BRAMS em Cachoeira Paulista (2012).

¹³ Quando há correção do modelo com base nos dados observados ou falhas de obtenção dos dados ou programação.

¹⁴ Chou, S. – Modelo Regional ETA –

<<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>> – acessado em 24/03/13.

¹⁵ Disponível no site <http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml>

Esquema da Metodologia

42

9. Resultados

Neste capítulo apresentam-se tanto as análises referentes às observações da concentração de monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP₁₀) no estado de São Paulo. Nas seções 9.1 a 9.10 são apresentadas as análises dos dados observados, tanto das concentrações dos poluentes (CO e MP₁₀) como das condições atmosféricas observadas (com dados da CETESB, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET –, dados da reanálise do modelo ETA e imagens de satélite).

9.1. Observações de CO e MP₁₀ – rede da CETESB

Quanto à rede de estações, a medição de CO acontece apenas na RMSP e na Região Metropolitana de Campinas, totalizando 15 estações, sendo que dessas, nem todas tem a série anual completa. Referente à MP₁₀ há um número maior de estações, aproximadamente 40 (mapas 2 e 3, seção 9.4), porém nem todas, novamente, com a série completa do ano de 2010.

A partir da extração das coordenadas das estações de qualidade do ar foi elaborado um mapa para se conhecer a distribuição delas pelo estado e localizá-las na área de estudo, como representado nos mapas 1, 2 e 3.

Na confecção dos mapas também se fez uma classificação para se distinguir, de acordo com a CETESB, a sua área (interior ou litoral) e os tipos de poluentes aferidos por essas estações, onde nota-se uma concentração de postos onde se mede CO na RMSP e Campinas, e uma deficiência no interior do estado.

Localização das Estações de Qualidade do Ar CETESB - Interior e Litoral - São Paulo

Projeção Equiretangular de Plate Carrée
Datum SIRGAS 2000
Coordenada Geográfica

Fonte: CETESB, IBGE e Google Maps
Autor: Thiago Silveira

Dezembro / 2012

Localização das Estações de Qualidade do Ar CETESB São Paulo e Região Metropolitana

Projeção Equiretangular de Plate Carrée
Datum SIRGAS 2000
Coordenada Geográfica

Fonte: CETESB, IBGE e Google Maps
Autor: Thiago Silveira
2012

Legenda

- Bairros de São Paulo
- ◆ Grande São Paulo

Mapa 2. Localização das estações CETESB para a cidade e Região Metropolitana de São Paulo
Fonte dos dados: CETESB, IBGE e Google Maps

Mapa 3. Localização das estações CETESB segundo os poluentes verificados
Fonte dos dados: CETESB e IBGE

Com relação ao total de estações no estado de São Paulo, computaram-se e classificaram-se (Quadro 5) as 102.594 amostras horárias de CO para o ano de 2010, sendo que a menor contribuição de medidas refere-se à estação Centro, com 0,68% das amostras, e a maior contribuição, pela estação de Congonhas, com 8,12% das amostras. Cada estação deveria contribuir com 6,67% das medições se considerássemos que todas poderiam ter operado normalmente durante o ano de 2010. O motivo da pequena contribuição de dados pela estação Centro foi a interrupção da medição a partir do mês de março, o que ocorreu justamente em uma área onde há muita emissão de poluentes devido à grande concentração de pessoas e veículos. Por outro lado, as estações próximas ao Centro, Mooca e D. Pedro II, funcionaram normalmente, minimizando o problema.

De acordo com a classificação de qualidade do ar apresentada no quadro 5, no capítulo 8, verificamos que, durante o ano de 2010, na maior parte do tempo observou-se boa qualidade do ar nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas. Os meses entre maio e setembro apresentaram maior quantidade de casos com qualidade do ar “REGULAR”, com maior quantidade de casos em agosto. Em junho e setembro, foram observados alguns poucos casos (5) de qualidade do ar “INADEQUADA”. Este comportamento sazonal da qualidade do ar em 2010 é semelhante ao padrão registrado para outros anos, conforme informações do Relatório de Qualidade do Ar da CETESB (2010). Durante os meses secos, na região subtropical, há maior influência de sistemas de alta pressão atmosférica, neste caso, da alta subtropical do Atlântico Sul, provendo mais condições para a estabilidade atmosférica e consequente concentração da poluição nos níveis baixos da atmosfera.

Gráfico 4. Número de amostras classificadas com qualidade do ar, referente à concentração de monóxido de carbono, como BOA, REGULAR ou INADEQUADA, tal como normatizado pela CETESB, em CETESB (2010)

O fato de haver mais observações na categoria “BOA” do que na “REGULAR” ou “INADEQUADA” não significa que a população esteja afastada de inconvenientes (BARROCAS, 2001). A concentração de CO, mesmo dentro do limite tolerável, pode ter um impacto negativo na saúde ambiental devido à circulação atmosférica local (AIRES; KIRCHOFF, 2001) (HOLTON, 2004). Em situação de estabilidade atmosférica, quando a atmosfera apresenta baixa taxa de turbulência, a dispersão da poluição torna-se baixa, podendo provocar altas taxas de concentração de poluentes na atmosfera no decorrer do período de passagem do sistema. A concentração de CO observada em 2010 nas regiões de São Paulo e Campinas apresenta valores mais altos entre junho e agosto, conforme gráfico 5.

Gráfico 5. Emissão mensal acumulada de monóxido de carbono (ppm) observada nas estações, em São Paulo em 2010

Fonte dos dados: CETESB

Através do gráfico 5, verificamos como o acúmulo de concentração de CO tende a aumentar nos meses mais secos e a diminuir nos meses mais úmidos. Aparentemente, a dinâmica atmosférica influi diretamente na concentração deste poluente. O mês de julho, dentre os meses mais secos, foi o que apresentou menor concentração de CO e maior precipitação, 93,5 mm (INMET, 2010). Essa altura de precipitação é considerada úmida (GAUSSEN, 1954) e esse poluente também pode estar associado à influência de razões sociais, como o recesso no setor público (recessos parlamentares, jurídicos e escolares). Em dezembro há outra queda, onde se registra a menor marca do ano, provavelmente com contribuição das férias escolares, dos trabalhadores e o período de festas (Natal e Ano Novo), além do aumento da precipitação que causa lavagem da atmosfera e remoção de poluentes (AZEVEDO, 2001).

A medição de MP_{10} é feita por um número maior de estações da CETESB e estão mais espalhadas pelo estado. Ao contrário das estações medidoras de CO, concentradas na RMSP (mapas 4 e 5 da seção 9.4). Em geral, os índices de classificação da qualidade do ar relativa ao MP_{10} (Gráfico 8) são piores do que os relativos ao monóxido de carbono. Foram 296.735 coletas de MP_{10} para valores horários e entre os postos; a maioria contribuiu com 3% do total (Gráfico 6).

Gráfico 6. Número de amostras horárias para cada estação do estado de São Paulo, para o ano de 2010

Fonte dos dados: CETESB

A concentração mensal de particulado MP_{10} observada nas estações da CETESB, assim como a de CO, apresenta uma sazonalidade com valores máximos nos meses mais secos do ano, entre junho e setembro. Possivelmente, os valores máximos no período seco estão associados à maior estabilidade atmosférica neste período, assim como indicado por Almeida (2001) (MUSK, 1988).

Gráfico 7. Emissão mensal acumulada de MP_{10} ($\mu g m^{-3}$) observada, em São Paulo em 2010.
Fonte dos dados: CETESB

A qualidade do ar relativa à concentração de MP_{10} no estado de São Paulo esteve, em geral, pior do que a concentração de monóxido de carbono em 2010. O número de horas em que a qualidade do ar foi classificada como “BOA”, “REGULAR”, “INADEQUADA”, “MÁ” e “PÉSSIMA” está indicado no gráfico 8. Verifica-se que as ultrapassagens do limite de MP_{10} tolerável para a saúde humana foram frequentes em 2010. Segundo a CETESB (2010), a qualidade do ar classificada como péssima, observada algumas vezes em 2010, pode causar “sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares e, o aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias”.

Gráfico 8. Número de ultrapassagem horária, em 2010, dos limites toleráveis de qualidade do ar relativamente ao MP₁₀, tal como estabelecido pela CETESB

Outro fato que chama atenção é a maior quantidade de horas no estado de São Paulo classificadas com qualidade do ar “REGULAR” nas amostras de MP_{10} , em relação às de CO. Em todos os meses do ano, exceto em janeiro, a classificação geral do ar como “REGULAR”, relativamente ao MP_{10} , é sempre superior à classificação como “BOA” (Gráfico 8). No caso do CO, o número de horas classificadas com qualidade do ar “REGULAR” é sempre inferior ao número de horas classificadas com qualidade “BOA” (Gráfico 8). A quantidade de horas com classificação “REGULAR” de MP_{10} aumenta durante os meses secos, e diminui nos úmidos. De forma complementar, o número de horas com classificação “BOA” para o MP_{10} diminui nos meses secos e aumenta nos úmidos. Janeiro é o único mês de 2010 em que o ar apresenta mais horas com a classificação “BOA” do que a “REGULAR”, em relação ao MP_{10} . Agosto foi o mês com mais horas classificadas como “INADEQUADA” e “MÁ”, sendo classificado com o mês com maior concentração de MP_{10} durante o ano de 2010.

A rede de coleta de MP_{10} é mais espalhada pelo estado, sendo que as estações localizam-se também em áreas produtoras de cana, onde se concentraram as piores marcas de qualidade do ar para 2010, coincidentemente nos meses de julho a setembro, auge da colheita da cana segundo Freitas et al. (2005). Em compensação, também são os meses mais secos, com mais estabilidade atmosférica, portanto, o fato da concentração de MP_{10} durante estes meses (julho a setembro) ser maior, não pode ser atribuído somente à queima da cana.

A análise sobre o comportamento diurno da qualidade do ar relativamente aos poluentes CO e MP_{10} revelou que existe um pico de concentração durante a noite e início da manhã, conforme visto no quadro 7 e nos gráficos 9 e 10, período em que a estabilidade atmosférica é maior devido à recorrente inversão térmica. A diminuição da temperatura do ar, da superfície e da camada limite planetária pode ser observada à noite (OKE, 2009). O aquecimento diurno provê o aumento da turbulência do ar durante a tarde e a consequente dispersão dos poluentes.

Dados CETESB 2010		
<i>MP₁₀</i>	Gases	<i>CO</i>
296.735	Amostras	102.594
40	Estações	15
Jun – Ago – Set	Piores Meses	Jun – Jul – Ago
Madrugada	Horas de Pico	Noite

Quadro 7. Comparativo dos poluentes analisados em números absolutos

Gráfico 9. Quantidade de horas (%) com qualidade do ar, referente à concentração de MP₁₀, BOA, REGULAR e INADEQUADA, durante os períodos do dia madrugada, manhã, tarde e noite, em 2010, no estado de São Paulo

Gráfico 10. Quantidade de horas (%) com qualidade do ar, referente à concentração de CO, BOA, REGULAR e INADEQUADA, durante os períodos do dia madrugada, manhã, tarde e noite, em 2010, no estado de São Paulo

9.2. Monóxido de Carbono

Em geral, as concentrações mais elevadas de CO e MP₁₀, em 2010, foram observadas nos meses secos, entre maio e setembro, como observado nos gráficos 11 e 13. Este comportamento sazonal segue o observado para a qualidade do ar analisada no item 9.1.

A média da concentração observada em cada mês está associada à boa qualidade do ar, mesmo para a média dos valores máximos observados. Isso significa que o acúmulo de CO e MP₁₀ na atmosfera do estado de São Paulo não representou um problema crônico em 2010. Porém, os valores máximos registrados em intervalos horários indicam que a qualidade do ar pode ser perigosa para pessoas mais vulneráveis. Segundo a CETESB (2010), os sintomas que o ser humano pode apresentar para concentrações de CO superiores a 9,5 ppm podem ser: cansaço, em toda população, e dores no peito, nos cardíacos.

Segundo o gráfico 11, os valores mínimos absolutos de CO observados em cada mês, em alguma estação medidora da CETESB, foi nulo. Em geral, observações de baixas concentrações podem ser notadas entre 10 e 19 horas local, tal como sugere os gráficos 9 e 10. Uma investigação mais aprofundada pode ser feita com o intuito de se verificar as condições atmosféricas e os dias da semana em que são observadas as baixas concentrações de CO. No entanto, sabe-se que nos meses de junho a setembro, os mais secos segundo as Normais Climatológicas (Gráfico 12), foram os que tiveram maior total de CO.

Gráfico 11. Valor médio e absoluto da concentração mensal de CO em 2010

Fonte dos dados: CETESB, 2012

Normais Climatológicas - Precipitação Mensal (mm)

Gráfico 12: Normais Climatológicas 1961-1990 sobre precipitação em todo estado de São Paulo
Fonte: INMET

9.3. Material Particulado

Os registros de material particulado foram separados em registros horários e diários, assim como foi feito com o CO (Gráfico 13). Desse modo, podem-se observar as curvas de máxima e mínima absoluta, bem como as médias das máximas, mínimas e das médias diárias, plotadas sobre as marcas de classificação da CETESB para cada mês.

Gráfico 13. Valores de material particulado mensal para 2010
 Fonte dos dados: CETESB, 2012

Os registros de material particulado são, em média, bastante regulares, suas três médias foram paralelas o ano todo, porém os valores absolutos mensais sofreram grande amplitude ao longo dos meses. Os valores mínimos absolutos, assim como aconteceu para o CO, registraram praticamente zero em alguma hora em todos os meses de análise.

O dia mais poluído do ano, relativamente ao MP₁₀, ocorreu em 24 de setembro, com 863,42 $\mu\text{g m}^{-3}$ de MP₁₀, em Cubatão, e, o segundo dia mais poluído ocorreu em Americana, em 16 de junho, com 838,65 $\mu\text{g m}^{-3}$ de MP₁₀. O evento de Americana coincidiu com a maior marca de CO, em 2010, devido à condições atmosféricas favoráveis, como visto nos capítulos 9.6, 9.7 e 9.9.

Segundo a localização dos valores máximos absolutos, tanto de CO como de MP₁₀, pode-se supor que as áreas urbanas e industriais são as que mais contribuem para a emissão. As emissões mais intensas ocorrem em Cubatão e região do ABC (Mapa 4 e Anexo A).

O comportamento sazonal dos valores máximos de CO e de MP₁₀ (gráficos 11 e 13) são muito semelhantes –, ambos apresentam aumento durante a estação seca e uma queda durante a estação úmida.

A comparação da concentração de poluentes nos vários municípios do estado de São Paulo deve ser feita cuidadosamente, pois há diversos perfis de atividades realizadas neles. Existem os que se dedicam à pecuária, à agricultura e às atividades urbanas.

Para estabelecer um padrão comparativo entre esses municípios, foi consultada, através do programa “Cidades@”, do IBGE, a principal atividade de cada município em que foi identificada a existência de uma estação de qualidade do ar. O poluente escolhido nesta análise foi o MP₁₀, apenas, pois as estações de medição encontram-se mais espalhadas pelo estado. Para tal, gráfico semelhante ao gráfico 13 foi elaborado considerando-se apenas as localidades rurais, cujo resultado pode ser visto no gráfico 14. Dessa forma pôde-se separar os municípios urbanos dos rurais, onde se nota grande diferença de emissão de poluentes.

A análise somente com municípios rurais (Gráfico 14) mostrou níveis de concentração média de MP_{10} menores de forma geral, porém, comparado com o gráfico 13, há um valor máximo muito alto no município de Americana. Nota-se também comportamento semelhante às médias do gráfico 13, com um aumento delas nos meses de agosto e setembro.

A análise mais aprofundada dos dados de MP_{10} em Americana, em 16/06/2010, quando foi observado valor máximo de $838,65 \mu\text{g m}^{-3}$, permitiu descartar a possibilidade de erro associado a este valor, uma vez que os dados que mostram uma elevação e declínio gradativos da concentração de MP_{10} nos dias próximos ao evento de valor máximo. Os gráficos do anexo A permitem realizar esta análise.

Gráfico 14. Valores de material particulado mensal entre municípios rurais para 2010

Fonte dos dados: CETESB, 2012

9.4. Localização geográfica das emissões de CO e MP₁₀

As informações fornecidas pela CETESB sobre a qualidade do ar foram suficientes para a elaboração de vários gráficos e tabelas, permitindo uma série de análises. Porém, com o avanço dos resultados houve a necessidade da espacialização da informação, concomitantemente com o campo temporal.

Na análise da distribuição espacial e mensal, durante 2010, dos piores índices de qualidade do ar no estado de São Paulo, relativamente às concentrações de CO e MP₁₀, foram feitas com base nos mapas 4 e 5, respectivamente. Nota-se que entre os meses de maio a agosto, meses com maior frequência de estabilidade atmosférica, um número maior de estações no estado de São Paulo apresentou valores máximos de concentração de CO associados às classificações do ar “REGULAR” e “INADEQUADA”, tal como indicado no mapa 4 (círculos verdes e laranja, nos mapas) e verificado nos gráficos 4 e 8. Para o MP₁₀, as maiores concentrações se dão de maio a setembro, quando há ocorrências de qualidade do ar de “INADEQUADA” a “PÉSSIMA”, com ápice em junho e julho, e uma situação generalizada de “INADEQUADA” e “MÁ” em agosto e setembro.

Como os instrumentos para mensuração de monóxido de carbono são mais caros em comparação aos usados para a mensuração de material particulado, como mencionado no capítulo 8 (Dados e métodos), a medição de CO pela CETESB é feita apenas na RMSP e em uma estação de Campinas, enquanto a medição de material particulado é espalhada por todo o estado de São Paulo, (mapas 1, 2 e 3). Desse modo, não se pode fazer uma análise comparativa direta entre os dois poluentes.

Mapa 4. Qualidade do ar em relação ao valor máximo absoluto mensal da concentração de CO ($\mu\text{g m}^{-3}$), observada em 2010
Fonte dos dados: CETESB e IBGE

Prancha de Distribuição Espacial de Material Particulado: máxima absoluta mensal

Mapa 5. Qualidade do ar em relação ao valor máximo absoluto mensal da concentração de MP10 ($\mu\text{g m}^{-3}$), observada em 2010
Fonte dos dados: CETESB e IBGE

Observando os mapas de dispersão (mapas 4 e 5) pode-se perceber a sazonalidade da poluição, seu aumento nos meses secos e redução nos úmidos. Simultaneamente, com o passar dos meses, nota-se que há alguns pontos isolados que ficam em situação “MÁ” enquanto os demais não tendem a esse *status* – como em Americana em julho para MP_{10} . Para a coleta de CO, suspeita-se que houve ampliação da rede de coleta, pois havia mais endereços recolhidos da listagem de 2012 para plotagem do que dados a se plotar nas estações. Isso ajuda a mostrar que o assunto é também acompanhado pelos órgãos governamentais, investindo, ainda que parcamente, em material e infraestrutura.

O mapa associado à modelagem atmosférica pode ajudar a compreender o deslocamento do vento para saber se ele favorece ou não a concentração de poluentes em determinada época do ano.

Observando o mapa de material particulado, pode-se notar que as regiões produtoras de cana, o norte e o oeste do estado, tem piora na qualidade do ar na época de colheita, enquanto áreas adjacentes, não-produtoras, possuem qualidade melhor, como nos meses de julho e setembro, coincidentemente.

Para aprofundar a análise dos dados, foram selecionadas algumas cidades, com diversos perfis para comparar a taxa de poluição entre elas durante o ano de 2010. Dessa forma, pode-se quantificar as marcas de poluição além de localizar no mapa sua distribuição; auxiliam também nesse comparativo, os dados exibidos no anexo B.

9.5. A concentração de MP_{10} entre municípios de diferentes perfis

Comparação entre a máxima em 24 horas mensal, ou seja, nos meses de janeiro a dezembro, a maior marca já registrada de material particulado, entre os diversos municípios segundo alguns critérios. A comparação entre as cidades serve para descrever como diferentes geócoros podem apresentar, ou não, semelhança segundo a qualidade do ar como mostrado nos gráficos 15, 16, 17 e 18. A confrontação entre municípios foi feita com o auxílio dos dados

do IBGE através do projeto “Cidades @”¹⁶ notadamente urbano (São José dos Campos), notadamente produtor de cana (Marília) e mediano entre urbano e rural (Ribeirão Preto).

Gráfico 15: Valor máximo absoluto mensal de MP₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$), em 2010, em Marília, Ribeirão Preto e São José dos Campos
Fonte: CETESB

No gráfico 15, a cidade produtora tem o pico anual de medição de material particulado no mesmo mês em que o estado de São Paulo registra o seu pico de eventos de queimada (gráfico 21 seção 9.8), setembro. Em agosto, a cidade de São José dos Campos apresenta sua maior marca, sendo esse um dos meses mais secos (Normais Climatológicas – gráfico 12), as quantidades de partículas em suspensão, principalmente nas cidades, tendem a aumentar, enquanto que em Ribeirão Preto, esse mês foi o de julho.

Para elaborar o gráfico 16, foram escolhidos outros três municípios, dessa vez um notadamente urbano, São José dos Campos; um agropecuário, Bauru; e outro próximo, mas produtor de cana, Jaú. Esse último, como no

¹⁶ Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index.php>

exemplo anterior, tem o seu pico anual registrado em setembro, na cidade. No município de Bauru, esse pico aconteceu juntamente com São José dos Campos, em agosto.

Gráfico 16: Valor máximo absoluto mensal de MP_{10} ($\mu g m^{-3}$), em 2010, em Bauru, Jaú e São José dos Campos
Fonte: CETESB

Para outro exemplo, seguindo os mesmos critérios do gráfico 16, foram selecionados três municípios, Cubatão (urbano), Catanduva (produtor de cana) com quase três milhões de toneladas de produção (IBGE, 2006), e São José do Rio Preto (agropecuário). E resultou em picos de medição de MP_{10} em áreas urbanas em agosto para Cubatão, assim como em São José dos Campos, em setembro para São José do Rio Preto e dezembro para Catanduva, exibido no gráfico 17. Porém, com uma ascensão mensal significativa a partir de junho, e máximos secundários entre junho e outubro, coincidindo com a época de meses secos e com a colheita da cana.

Gráfico 17: Valor máximo absoluto mensal de MP_{10} ($\mu\text{g m}^{-3}$), em 2010, em Catanduva, Cubatão – Centro e São José do Rio Preto
Fonte: CETESB

Outro estudo de caso foi analisar cidades que estão em diferentes pontos do estado de São Paulo e com os dados anuais completos, como mostra o gráfico 17. Atendendo a esses critérios estão as cidades de Marília (mais a oeste), Piracicaba (ao centro do estado) e Cubatão – Centro (ponto mais ao litoral).

Os pontos mais altos no ano ocorreram em setembro para Marília e em agosto para Piracicaba e Cubatão.

Gráfico 18: Valor máximo absoluto mensal de MP_{10} ($\mu\text{g m}^{-3}$), em 2010, em Cubatão - Centro, Marília e Piracicaba
Fonte: CETESB

Analisando os dados de forma geral, verifica-se que cidades industriais tendem a ter uma taxa média de material particulado mais alta, com picos durante os meses secos, já as dedicadas à agropecuária, tendem a ter um ar mais limpo de MP_{10} e picos nos meses secos. Dentre as cidades produtoras, exceto Catanduva, o mês mais poluído foi setembro. Por isso, esse fato coincide com os meses de maiores episódios de queima de biomassa no estado, auge da colheita e, climatologicamente, época mais seca no ano.

9.6. Condição sinótica nos períodos de máxima concentração de CO e MP_{10} no estado de São Paulo

A análise das condições sinóticas da atmosfera para os períodos de maior concentração de poluentes foi feita com base em imagens de satélite realçada do GOES 12, canal T-Realçada, e nos dados da reanálise do modelo regional ETA, tal como apresentado no capítulo de dados e métodos (capítulo 8). Os dados da reanálise do ETA foram visualizados com o auxílio do *software* GrADS. Os períodos selecionados para a análise sinótica estão associados ao

registro de valores máximos da concentração de CO e MP₁₀ nos postos do estado de São Paulo, como listado no quadro 6 (capítulo 8).

As variáveis atmosféricas da reanálise do modelo ETA foram: precipitação acumulada em 6 horas, temperatura (10 m, 850 e 250 hPa), vento (10 m, 850 hPa, 250 hPa) e divergência do ar (850 hPa e 250hPa), tanto para a América do Sul como para uma região menor centrada sobre o estado de São Paulo.

Os dias 16 e 17 de junho de 2010 apresentam os maiores valores de concentração de CO no estado de São Paulo, em Santo André (Paço Municipal), onde o valor máximo de CO no dia 17 de junho foi igual a 10,22 ppm. A distribuição espacial da qualidade do ar para estes dois dias está apresentada no mapa 4 (capítulo 9.4. Localização geográfica das emissões de CO e MP₁₀). As imagens do satélite Goes-12, canal T-realçada para o primeiro período, de 14 a 20 de junho de 2010, indicam a passagem de uma frente fria pelo sudeste da América do Sul, atingindo o estado de São Paulo em 18 de junho (imagens 1 e 2). A imagem de satélite, neste caso, evidencia a emissão de radiação pelos corpos terrestres e atmosféricos. Nas imagens de satélite, as cores mais frias (tons de azul) indicam temperaturas mais baixas e, portanto, nuvens mais profundas. As cores mais quentes (tons de amarelo e laranja), corpos com temperaturas mais altas, nuvens menos profundas. A frente fria que passa sobre a América do Sul tem sua maior atividade nas áreas em tons de azul.

De acordo com as imagens de satélite (imagens 1 e 2), neste primeiro período é possível observar uma grande área com pressão baixa sobre a costa do Pacífico, no sudoeste da América do Sul, com uma frente fria bem definida na região. Ao nordeste da Argentina, é possível verificar a formação de uma baixa pressão relativa associada ao jato subtropical que se desenvolve sobre o centro da América do Sul. Nos dias 15 e 16 de junho a baixa pressão do nordeste da Argentina se desenvolve juntamente com a baixa pressão em latitudes mais ao sul, deslocando-se para o Atlântico Sul. Nos dias 16 e 17 de junho a frente fria está bem desenvolvida na região sul do Brasil. No período de 14 a 17 há condições para uma intensificação gradativa no processo de

acumulação de poluentes na baixa troposfera, sobre o estado de São Paulo, devido à atuação contínua da alta pressão. A atuação da alta pressão é caracterizada por movimentos verticais subsidentes, que impedem a turbulência atmosférica e a dissipação da poluição. Com a passagem frontal pelo estado de São Paulo no dia 18 de junho, a turbulência atmosférica associada contribui para a dispersão de poluentes, fazendo com que os níveis de concentração de CO e MP₁₀ diminuam, tal como indicado no anexo A.

Pelos campos de divergência do ar em 850 hPa (prancha de croquis 7 e 11) é possível verificar a convergência do ar sobre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sul do Brasil, nos dias 16 a 18 de junho, às 06h GMT (cores azul e roxa no mapa). Este período é o de máxima concentração de poluentes observada no estado de São Paulo. No campo de divergência do ar do dia 17 de junho, às 00 e 12 horas, observa-se convergência do ar na faixa próxima do litoral na região sudeste do Brasil, abrangendo os estados do Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, e denotando a atuação da frente fria e da alta pressão da retaguarda da frente sobre esta região.

A evolução dos campos de temperatura do ar na superfície, para o mesmo período, conforme a prancha de croquis 5, indica que houve um aquecimento do ar no estado de São Paulo, o que é explicado pela atuação contínua do sistema de alta pressão sobre a região (Gráfico 19). A permanência de um sistema de alta pressão, por período relativamente longo, sobre determinada região implica em aquecimento do ar uma vez que a contínua estabilidade do ar não contribui para a entrada de novos sistemas e, portanto, para a alteração das condições atmosféricas reinantes.

A precipitação acumulada nas últimas 6 horas não apresentou chuvas no estado durante o período analisado (Prancha de Croquis 3). A temperatura esteve em torno dos 16°C, não apresentando uma queda acentuada e nem grande amplitude térmica, visto os horários das figuras, indicando que a frente fria não era muito intensa. No entanto, no final do dia 17 e 18 de junho há elevação da temperatura, indicando o final da passagem da frente fria (prancha de croquis 3, 4 e 5).

Os ventos em 850 hPa diminuem de velocidade no período, o que promove a estabilidade atmosférica (prancha de croquis 6 e 10) e é corroborada pela inversão da divergência positiva (prancha de croquis 7 e 11, figura C e D) para negativa, no mesmo nível.

De forma contrária do comportamento dos ventos em 850, os de 250 hPa também apresentam aumento de velocidade e inversão da divergência de ventos em 250 hPa (prancha de croquis 8, 9, 12 e 13 figuras B, C e D).

Para os ventos em 10 metros da superfície, temos situação de ventos fracos em todo o continente Sul-Americano com direção predominante de norte para sul e sul-sudeste. Os ventos em 850 hPa sopram de oeste e ficam moderados no litoral de SP e bem fortes na região sul do país. Isso pode proporcionar transporte de poluentes do norte para a RMSP, por exemplo. Por acaso, a área de atuação maior da cana-de-açúcar no estado de São Paulo se encontra ao norte e a oeste do estado, podendo ser um indício de que a queima possa ser transportada para a RMSP.

Imagem 1. Satélite Goes-12, T-realçada de 14 a 17/Jun/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de CO
Fonte: CPTEC / INPE

Imagem 2. Satélite Goes-12, T-realçada de 18 a 20/Jun/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de CO
 Fonte: CPTEC / INPE

chuva acumulada em 6h (mm) as 18Z17JUN2010

Temperatura (celsius) as 18Z17JUN2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 00Z17JUN2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 00Z17JUN2010

Linha de Corrente em 250 hPa (m/s) as 00Z17JUN2010

Prancha de Croquis 3. Situação atmosférica no continente quando ocorreu o máximo de CO em 2010
Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

chuva acumulada em 6h (mm) as 18Z17JUN2010

Temperatura (celsius) as 18Z17JUN2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 00Z17JUN2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 00Z17JUN2010

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 00Z17JUN2010

Prancha de Croquis 4. Situação atmosférica em SP quando ocorreu o máximo de CO em 2010
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 5. Evolução cronológica da temperatura em superfície em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO. Linha tracejada indica 16°C
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 6. Evolução temporal dos ventos em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 7. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 8. Evolução temporal dos ventos em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 9. Evolução temporal da divergência de ventos em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 10. Evolução temporal dos ventos em SP em 850 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 06h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 11. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 850 hPa em 06 (a) e 12h (b) do dia 16/06, 00 (c) e 12h (d) do dia 17/06 e 06h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 12. Evolução temporal dos ventos em SP em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 13. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 250 hPa em 06 (a) e 18h (b) do dia 16/06, 06 (c) e 18h (d) do dia 17/06 e 00h (e) do dia 18/06/2010 durante o máximo de CO
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

No outro período analisado, dessa vez para os valores máximos de MP_{10} (21 a 27 de setembro) foram selecionadas as velocidades de vento, a sua dispersão, a precipitação acumulada em 6 horas e a temperatura. O diagrama (Prancha de Croquis 16) mostra uma zona de alta temperatura concentrada no centro-oeste, que se expande para São Paulo, chegando ao seu auge no dia 24 às seis da manhã. Simultaneamente, as temperaturas no sul do país entram em declínio, registrando valores de aproximadamente 9°C. A precipitação acumulada em 6 horas mostra chuvas fracas no continente, mas em formato típico de frente fria (prancha de croquis 14 e 15).

Os ventos a 10 metros da superfície e de 850 hPa são moderados de leste e sudeste, enquanto na região sul estão de sudeste para noroeste (prancha de croquis 14, 15 e 17). Eles também apresentam uma zona de convergência de ar que se alonga desde o Amazonas, passa por Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná.

A convergência de ventos, a diferença de temperatura entre o centro-oeste e o sul, além da precipitação, que apesar do pouco volume, apresentar formato de frente fria, permitiram deduzir que havia naquele momento uma chegada de frente que causou turbulência do ar e dificultou a deposição do material particulado.

Os croquis de divergência de vento em 250 hPa (prancha de croquis 20 e 24) mostram estabilidade atmosférica, não há sinais significativos de ascendência ou descendência de ventos nas regiões metropolitanas ou canavieiras, exceto quando combinados com outros níveis, como o caso de 24 de setembro às 18h quando há ventos descendentes e em 850 hPa ascendentes. Esses ventos vindo de oeste, principalmente da região produtora de cana, no mês mais ativo de queimadas pode transportar grandes quantidades de poluentes, visto que há instabilidade atmosférica nesse período.

No entanto, em 850 hPa, a RMSP se encontra numa área de estabilidade atmosférica e com seus arredores em turbulência (prancha de croquis 18 e 22). Nesse nível atmosférico, os ventos sopram de oeste, porém a estabilidade na RMSP impede a chegada de poluentes de forma maciça. No

litoral, há ventos ascendentes, limitando-se do litoral carioca até a Serra do Mar.

Para ilustrar a situação atmosférica, imagens do GOES-12 (CPTEC / INPE) foram usadas para comparação entre o modelo e o observado. Os horários de 00h do período de análise (21 a 27 de setembro de 2010) se encontram abaixo (imagens 3 e 4). A análise dos dados do modelo confere com as observadas na imagem.

Imagem 3. Satélite Goes-12, T-realçada de 21 a 24/Set/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de MP10
Fonte: CPTEC / INPE

Imagem 4. Satélite Goes-12, T-realçada de 25 a 27/Set/2010 para as 00h e respectivas cartas sinóticas (abaixo). Atuação de célula de alta pressão sobre SP, ocasionando a máxima de MP10
Fonte: CPTEC / INPE

chuva acumulada em 6h (mm) as 06Z24SEP2010

Temperatura (celsius) as 06Z24SEP2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 06Z24SEP2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 06Z24SEP2010

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 06Z24SEP2010

Prancha de Croquis 14. Situação atmosférica no continente em máximo de MP10 em 2010
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

chuva acumulada em 6h (mm) as 06Z24SEP2010

GrADS: COLA/IGES

Temperatura (celsius) as 06Z24SEP2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 06Z24SEP2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 06Z24SEP2010

GrADS: COLA/IGES

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 06Z24SEP2010

GrADS: COLA/IGES

Prancha de Croquis 15. Situação atmosférica em SP quando ocorreu o máximo de MP10 em 2010
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 16. Evolução cronológica da temperatura em superfície em 00 (a) e 12h (b) do dia 23/09, 00 (c) e 06h (d) do dia 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h em 26/09/2010 durante o máximo de MP10. Linha tracejada indica 16°C
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 17. Evolução temporal dos ventos em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 18. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP₁₀
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 19. Evolução temporal dos ventos em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18 (e) em 25/09 e 00h (f) de 26/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 20. Evolução temporal da divergência de ventos em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 21. Evolução temporal dos ventos em SP em 850 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 22. Evolução temporal da divergência de ventos em 850 hPa em SP em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09, 18h (e) em 25/09 e 00h (f) em 26/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 23. Evolução temporal dos ventos em SP em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09 e 18 (e) e 00h (f) em 25/09/2010 durante o máximo de MP10
 Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 24. Evolução temporal da divergência de ventos em SP em 250 hPa em 00 (a) e 12h (b) de 23/09, 00 (c) e 06 (d) de 24/09 e 18 (e) e 00h (f) em 25/09/2010 durante o máximo de MP10
Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

Prancha de Croquis 25. Situação topográfica da América do Sul e de parte da região sudeste
Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

A interpretação desses e outros instrumentos associados são usados para fazer previsão e os boletins técnicos meteorológicos, que são divulgados no site do INPE. Eles foram escolhidos segundo o dia em que ocorreu a máxima, média ou mínima de CO e MP₁₀ mais o dia subsequente. Eles se encontram nos anexos C e D.

O boletim técnico e os dados de saída do modelo ETA ajudaram a responder como a atmosfera se comportou e como ela pode propiciar um índice elevado de poluição. Nesse caso aconteceram duas situações distintas, ventos de norte para sul e na outra, turbulência atmosférica impedindo a deposição de particulados por causa de uma frente fria. Elas também contribuíram para responder como eram as condições atmosféricas em escala local (estado de São Paulo) e continental (América do Sul), bem como se pôde haver condições para queimada.

9.7. Análise Rítmica dos Máximos de CO e MP₁₀

A análise rítmica para os meses de junho e setembro foi feita para subsidiar a compreensão do comportamento atmosférico associado aos valores de máxima concentração de poluentes observada no estado de São Paulo. A análise rítmica foi proposta pelo professor Carlos Augusto Monteiro em sua tese de doutorado (MONTEIRO, 1973), e em (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003), além de ter sido usada na dissertação de mestrado do professor Tarifa (TARIFA, 1973).

Os elementos do clima utilizados foram: pressão atmosférica, temperatura, umidade, precipitação, insolação, cobertura do céu, velocidade e direção do vento e o sistema atmosférico atuante no dia. A análise rítmica foi realizada para o posto de Santana, com dados do INMET, pela disponibilidade de dados. Para facilitar a leitura do gráfico, foi marcada uma tarja mostrando a chegada de alguma frente fria.

Durante o mês de junho de 2010 ocorreu a passagem de três frentes frias, de acordo com o gráfico 19: nos dias 05, 17 e 27. Houve o predomínio da massa de ar de latitudes mais altas, de acordo com as informações das

imagens 1 e 2, porém em São Paulo as temperaturas não ficaram muito baixas, entre 15 e 20°C. Após cada passagem frontal, é possível observar a entrada de ventos do quadrante sul (sudeste, sudoeste e sul). A cobertura do céu alternou entre completamente nublado e totalmente limpo. Foi observada pouca precipitação durante o mês, abaixo de 15 mm. A evaporação esteve elevada nos períodos anteriores às passagens frontais, principalmente antes da frente fria do dia 17, quando a pressão atmosférica em superfície apresentou queda significativa e houve aumento maior da temperatura do ar.

Em setembro de 2010, houve também a passagem de três frentes frias sobre o estado de São Paulo. Em contraposição ao mês de junho, observa-se, durante o mês de setembro, maior fração do céu coberta com nebulosidade, sugerindo a presença mais frequente de sistemas subsidentes no mês de junho. A temperatura média do ar no mês de setembro ficou foi 20 °C, 5 °C mais alta que a de junho. A taxa de evaporação em setembro foi bem maior do que a de junho, muito provavelmente pelos maiores valores da temperatura do ar. A taxa de precipitação foi maior do que a de junho, aproximadamente 100 mm. A pressão atmosférica durante os dois dias antes do dia 24 não apresentou muitas alterações, principalmente para o horário de 12 e 18 horas, proporcionando estabilidade favorável ao acúmulo de MP_{10} .

Análise Rítmica Junho/2010 - São Paulo - Mir. Santana - Lat.: -23.5° Long.: -46,61°

Gráfico 19: Análise Rítmica de junho de 2010
Fonte: INMET

Análise Rítmica Setembro/2010 - São Paulo - Mir. Santana - Lat.: -23.5° Long.: -46,61°

Gráfico 20: Análise Rítmica de setembro de 2010
Fonte: INMET

9.8. Focos de queimada

Os dados dos focos de queimada levantados através de sensoriamento remoto constituem outro conjunto de dados para se validar a presença ou não de queimadas em superfície. Se relacionados com a posição geográfica das áreas de produção de cana no estado de São Paulo, vão permitir identificar exatamente a área de cana queimada.

Os focos de incêndio, neste estudo, são definidos seguindo a sensibilidade dos sensores de satélite quanto à emissão de radiação no canal do infravermelho. Em geral são classificados como foco de incêndio quando é detectada temperatura superior a 47°C, em área maior que 900 m², segundo Gontijo et al. (2011).

Observando o gráfico 21, verificou-se que há aumento da ocorrência de queimadas durante os meses secos, em especial em agosto e setembro, último mês seco na região. Portanto, para esse período de trinta dias, foi feito outro gráfico (gráficos 22 e 23) que mostra quantos incêndios são detectados por dia durante o mês. Verificou-se que há uma periodicidade de aproximadamente 10 dias entre um pico e outro nas amostras.

Suspeita-se que esse intervalo entre os picos de queima possa ser de origem antropogênica, aproveitando a estabilidade atmosférica entre a passagem de uma frente fria e outra (Gráfico 24). Por outro lado, quando se verifica os incêndios somente em área de cana, no mês de setembro e o total desses eventos tanto em canavial, quanto em outro bioma, verifica-se uma contribuição de aproximadamente 30% da queima de cana no total estadual (Gráfico 25).

O que aumenta a suspeita da parte antropogênica da cana na contribuição geral das queimas é o uso de maturadores químicos nas lavouras despejadas por aviões. Segundo uma entrevista com o piloto Marcelo Amaral, os maturadores químicos devem ser usados: com tempo seco, com menos de 30°C, aproximadamente 50% de umidade relativa, geralmente pela manhã e não há efeito em caso de chuva (SILVA, 2007). Portanto, é aplicado preferencialmente em estabilidade atmosférica. Esses maturadores químicos

servem para abreviar a colheita de 35 a 55 dias, podem ter fator estressante hídrico na planta, para aumentar a concentração de açúcar e facilitar a queima (ROSETTO, 2010).

Por ser um processo caro e umidade relativa do ar ser determinante, o melhor período do ano para aplicar o maturador são os meses secos (INMET, 1993) (GAUSSEN, 1954), e pelas poucas queimadas em canavial observadas de outubro a dezembro, deduz-se que o maior uso dos maturadores é entre agosto e setembro, visando otimizar e terminar o quanto antes a colheita, acelerando o amadurecimento daqueles pés que não estavam prontos ainda, como vistos nos mapas 9 e 10.

Gráfico 21. Episódios mensais de queimada detectadas por satélite em 2010
Fonte dos dados: INPE

Gráfico 22. Episódios totais de queimada detectada por satélite em agosto de 2010
Fonte dos dados: INPE

Gráfico 23. Episódios totais de queimada detectada por satélite em setembro de 2010
Fonte dos dados: INPE

Gráfico 24. Episódios de incêndios detectados apenas em canavial, em setembro de 2010
Fonte dos dados: INPE

Gráfico 25. Locais de queimadas no estado de São Paulo em 2010
Fonte dos dados: INPE

9.9. Análise sinótica para os meses de agosto e setembro de 2010

A busca de justificativas para as altas concentrações dos poluentes CO e MP₁₀ observadas no estado de São Paulo em agosto e setembro contou com o suporte da análise sinótica da atmosfera. Cartas sinóticas e imagens de satélite (T_realçada) para os horários (hora local) de 00 h e 12 h de todos os dias dos dois meses foram usadas.

A evolução do comportamento da atmosfera para os períodos de picos de detecção de incêndios (Imagem 5), com o uso das cartas sinóticas e das imagens de satélite, permitiu verificar uma relação entre a previsão de chuvas e o aumento de queimadas. É provável que o produtor de cana tenha informação sobre a aproximação de uma frente fria, portanto, de ocorrência provável de chuva, e acelere o processo de queima. Mesmo sem a aceleração proposital do processo de queima pelo produtor, as condições atmosféricas propiciam o aumento natural das queimadas uma vez que a temperatura do ar e a evapotranspiração da superfície aumentam e a umidade relativa do ar diminui com a aproximação de uma frente fria. A análise do período de 11 a 13 de setembro de 2010 ilustra a aproximação de uma frente fria ao estado de São Paulo. Nos três dias seguintes ao dia 11, o número de queimadas aumentou bastante, como indicado no gráfico 23, caracterizando a relação. Anteriormente às passagens frontais dos dias 14 de agosto e 04 de setembro, o número de queimadas no estado também aumentou.

Mapa 6: Carta Sinótica de 11 a 13 de setembro de 2010 de 00 e 12 horas
Fonte: Marinha do Brasil

Imagem 5: Imagem de satélite de 11 a 13 de setembro de 2010 de 00 e 12 horas
Fonte: CPTEC / INPE

Uma particularidade que chamou atenção nesse período é que o mês de setembro compreende também o dia de maior poluição por material particulado do ano (24/09/2010). Apesar da semana toda do dia 24 haver registro de queima, ele não foi em número significativa comparada às semanas anteriores. Seu maior número de queimadas entre os dias 19 (domingo) e o dia 30 (quinta-feira) foi de 747, sendo apenas a quarta marca do mês (22/09/2010).

O alto nível de poluição no dia 24, portanto, não fica explicado apenas pelos episódios de queima, sendo assim, a análise do comportamento atmosférico poderia explicar o acontecido.

Analisando as cartas sinóticas e as imagens de satélite, notou-se uma situação atmosférica bastante complexa nos arredores do estado de São Paulo. Havia uma frontólise no litoral de Santa Catarina, uma área de baixa pressão no Mato Grosso do Sul e um cavado em superfície¹⁷ no Paraguai e interior do PR e SC. Essa situação poderia trazer umidade do oceano para o interior do país, que poderia resultar em precipitação – condição atmosférica que não interessa aos produtores de cana – como mostrada na carta de 23/09/2010 às 00 hora.

A situação continuou e a frontogênese que se encontrava no oceano avançou até São Paulo, acompanhado de um cavado em superfície e uma célula de baixa pressão (em superfície). O gradiente de pressão era grande para a célula de Alta Pressão do Atlântico Sul, aproximadamente 34 hPa. Se há uma baixa pressão em superfície, há uma alta em altitude (MUSK, 1988) pela própria circulação atmosférica. Isso significa que na alta atmosfera havia estabilidade e os poluentes circulavam numa altura menor, concentrando-se e acumulando-se com o passar dos dias, visto nos mapas 7 e 8.

A quantidade de material emitido por queima, apesar de não ter sido grande, contribuiu com o alto índice de poluição por conta dos fenômenos atmosféricos que aconteceram.

¹⁷ Injeção de ar frio em superfície (MUSK, 1988).

Mapa 8: Carta Sinótica (meio) de 24/set/2010 às 12 horas
Fonte: Marinha do Brasil

Imagem 6: Imagem de satélite (direita) GOES-12 realçada de 24/set/2010 às 00 hora
Fonte: CPTEC / INPE

9.10. Análise sazonal de CO e MP₁₀

A observação das taxas de poluição ao longo do ano está diretamente ligada às condições atmosféricas apresentadas e a sua sazonalidade anual, como descrito ao longo do capítulo 9.

O programa CANASAT do INPE fornece as áreas produtoras de cana para todo o país (Prancha de Croquis 2, capítulo 4). Assim, a localização da queimada pode ser estabelecida com base em seu georreferenciamento e nos dados do CANASAT. Os mapas 9, 10, 11 e 12 indicam a queima da biomassa no estado de São Paulo, no ano de 2010. Comparando os dados de queima de biomassa e da localização das áreas com plantação de cana é possível identificar, tal como indicado no mapa 10, a localização das queimadas de cana.

Esse mapeamento mostra a ocorrência mensal de queimadas ao longo do ano de 2010, como ilustrado no mapa 9. Nele está indicada a distribuição temporal e espacial das queimadas, ficando evidente a sazonalidade da queimada com auge nos meses de agosto e setembro. O aumento do número de queimadas nesses meses contribui para a piora da qualidade do ar, o que também está indicado no gráficos 13 e 14 (capítulo 9.3), por exemplo.

Os pontos nos mapas mostram que nem todas as queimadas de biomassa referem-se a áreas de cana, muitas referem-se a áreas reconhecidamente de plantação de laranja ou de preservação ambiental, como as cuestas ou as escarpas de serra (Prancha de Croquis 23, capítulo 9.6). Quando associado ao mapa 11, mostra ainda uma grande concentração de focos ao norte do estado, na região de Ribeirão Preto, principalmente comparado a região do Litoral Sul Paulista, área não produtora (PROGRAMA CANASAT, 2003) (SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, 2008).

Os mapas 11 e 12 associados mostram como a sazonalidade das queimadas coincide com o regime de colheita de cana, associado tanto ao período ótimo para o plantio e colheita como pelas condições climáticas presentes nesta época do ano na região. O período seco também é mais favorável à flâmabilidade de biomassa, e aplicação de químicos agrícolas (SILVA, 2007) (ROSETTO, 2010).

Mapa 9: Mapa dos focos de incêndios no estado de São Paulo em 2010
Fonte: IBGE (2010) e INPE (2012)

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

Mapa 10: Mapa de queimadas e em áreas de colheitas de cana-de-açúcar em 2010
Fonte: IBGE (2010) e INPE (2012)

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

Mapa 11: Mapa densidade de queimadas e áreas de colheitas de cana-de-açúcar em 2010
Fonte: IBGE (2010) e INPE (2012)

Mapa 12: Quantidade mensal de incêndios detectados em áreas de colheitas de cana, em 2010
Fonte dos dados: IBGE (2010) e INPE (2012)

10. Conclusões

O Brasil esteve certo na sua postura pioneira de procurar uma fonte de energia alternativa ao petróleo e investir em tecnologia nacional para alcançar esse objetivo. Seus resultados levaram também ao desenvolvimento de outras áreas do conhecimento como a agronomia e química.

Porém, há que se melhorar as condições de trabalho do campo que levam à evidente exploração dos trabalhadores e problemas sociais e de saúde no campo.

Também deve-se diminuir os episódios de queimada do canavial, pois a poluição gerada no processo permite o transporte de poluentes para as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, que por si já são mais poluídas. Agravados simultaneamente, pelas condições atmosféricas de tempo seco e estiagem no estado e o auge da colheita da cana.

A análise geográfica desses estudo permite compreender melhor o lado ambiental, espacial, econômico e de saúde da cadeia produtiva da cana, bem como sua estrutura logística e social que levaram o país à posição atual de maior produtor de cana-de-açúcar (Gráfico 1).

Recomenda-se através desse estudo uma otimização da distribuição das estações de aferição da qualidade do ar, principalmente na observação de monóxido de carbono para áreas do interior do estado, uma vez que áreas que não possuem perfil econômico ou de localização para poluir podem receber cargas de poluição de outros locais, segundo Aires e Kirchoff (2001).

A quantidade de CO não apresentou níveis alarmantes para a saúde apesar da sua medição estar concentrada em áreas de urbanização intensa (Mapa 3). O perfil das cidades, por outro lado, mostrou-se influenciar na quantidade de poluentes verificados, principalmente quanto ao MP₁₀, onde havia mais postos de observação disponíveis.

O setor de cana influencia no total de queimadas registradas no estado de São Paulo em aproximadamente 30% do que é verificado pelos satélites. Essa influência antropogênica afeta não apenas o equilíbrio ambiental como também a saúde da população local, como já visto em diversos estudos (AIRES; KIRCHOFF,

2001) (ARBEX, 2001) (BARROCAS, 2001) (CANÇADO et al., 2006) (RIBEIRO, 2008) (TORRES; MARTINS, 2005) (WAGNER, 2000) (ZANCUL, 1998).

Assim a pesquisa corrobora com a hipótese levantada de que há, sim, influência antropogênica e de outros geócoros na piora da qualidade do ar das regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas. Apesar de não se quantificar essa contribuição, dada a influência direta das condições atmosféricas, que são efêmeras, esses dados levam a constatar que a população dessas regiões urbanas não são os únicos responsáveis pela má qualidade do ar que respira.

Sendo assim, um rigor maior nas fiscalizações e consenso nas legislações em todas as esferas de poder são necessárias para se mitigar o problema, visto que a atmosfera não segue as fronteiras políticas.

11. Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Acidentes aeronáuticos ocorridos em 2002**, 2002. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/segVoo/seguranca10.asp>>. Acesso em: 09 jun. 2013.
- AGÊNCIA PAULISTA DE PROMOÇÃO DE INVESTIMENTOS E COMPETITIVIDADE. Investe São Paulo. **Agronegócios**, 2006. Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/setores/agronegocios>>. Acesso em: 27 jun. 2013.
- AIRES, C. B.; KIRCHOFF, V. W. J. H. Transporte de monóxido de carbono gerado em queimadas para regiões onde não se queima. **Brazilian Journal of Geophysics**, São José dos Campos, v. 19, n. 1, p. 61-74, 2001.
- ALMEIDA, M. D. **Identificação dos principais fatores de controle do aporte atmosférico de substâncias inorgânicas no Maciço de Itatiaia - RJ**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2001.
- 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.
- 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.
- AZEVEDO, T. R. **Derivação antrópica do clima na região metropolitana de São Paulo abordada como função do ritmo semanal das atividades humanas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.
- BARROCAS, R. **A queimada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: o exemplo de Itacemópolis**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas - fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 5ª. ed. Petrópolis: Vozes, 1968 [2006].
- BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil**. Brasília: Horizonte, 1985.
- BRANDÃO, A. M. P. M. As alterações climáticas na área metropolitana do Rio de Janeiro. In: ABREU, M. D. A. **Natureza e sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esporte, 1992.
- BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente. **CONAMA 003**, Brasília, 1990. Disponível em: <www.lei.adv.br/003-90.htm>. Acesso em: 15 jun. 2009.

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.

CASTRO, M. G. S. **Chuva ácida na cidade de São Paulo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.

CAVALCANTE, M. S. **A verdadeira história da cachaça**. São Paulo: Sá, 2011.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar**, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa?es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: set. 2011.

CHOU, S. Modelo Regional ETA. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO. CETESB. **Redes de monitoramento**, 1999. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa?es-B?sicas/23-Redes-de-Monitoramento>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

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

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Análise do PIB das cadeias produtivas de algodão, cana-de-açúcar, soja, pecuária de corte e leite no Brasil**. Sistema CNA. Brasília. 2012.

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei 11.241**. São Paulo. 2002.

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.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Countries by commodity. **FAOSTAT**, Nova Iorque, 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 06 jun. 2013.

FRANÇA, A. Estudo sobre o clima da bacia de São Paulo. **Boletins da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, São Paulo, 1946. 34, 35, 48.

FRANÇA, D. A. et al. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, 2012. 164-180. Disponível em:.

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>. Acesso em: 23 fev. 2013.

GALLOWAY, J. N. et al. The composition of precipitation in remote areas of the world. **Journal of geophysical research**, v. 87, n. 11, p. 8771-8786, 1982.

GAUSSEN, H. **Geographie des plantes**. Paris: Armand Colin, 1954.

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>.

HILL, M. K. **Understanding environmental pollution**. Cambridge : Cambridge University Press, 1997.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. San Diego: Elsevier, 2004.

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

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados@**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=sp>>. Acesso em: 14 ago. 2010.

IGNOTTI, E. et al. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção dos municípios segundo indicadores de saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, 10, dez. 2007. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2007000400003&lang=pt.

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

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**, 2010. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: ago. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas 1961-1990**. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Brasília. 1991. Disponível em: www.lce.esalq.usp.br/angelocci/NORMAIS.xls.

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. Acesso em: 12 fev. 2010.

KAWANO, M. **Desenvolvimento, validação e aplicação de um modelo matemático para dispersão de poluentes atmosféricos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86052/193468.pdf?sequence=1>.

LEITÃO, M. **Saga brasileira**: a luta de um povo por sua moeda. Rio de Janeiro: Record, 2011.

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.

MARIA, P. H. S.; COSTA, A. A.; SOMBRA, S. S. Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, 23, 2008. 477-489. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102-77862008000400007&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 04 out. 2012.

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário estatístico de agroenergia**. Brasília. 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: EDUSP, 1973.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MORELLI, F. A meteorologia aplicada ao ambiente construído. **Boletim Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, ago-dez 2008. 69-75.

MUSK, L. **Weather Systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

- NETO, J. B. O.; COSTA, A. J. D. A Petrobrás e a exploração de petróleo offshore no Brasil: um approach evolucionário. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, Jan/Mar 2007.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402007000100006&lang=pt.
- NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. **A estratégia para a cana no Brasil**: um negócio classe mundial. São Paulo: Atlas, 2010.
- OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2ª Edição. ed. London: Routledge, 2009.
- PEREIRA, C. Combustível do futuro São José é o 'berço' do motor a álcool. **Vale Paraibano**, São José dos Campos, 07 mar. 2007.
- PROGRAMA CANASAT. CANASAT. **Monitoramento da cana-de-açúcar**, 2003. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>>. Acesso em: 2011.
- RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2008.
- ROSETTO, R. Embrapa. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 27 dez. 2013.
- ROSSEL, C. E. V. Grupo Energia / Projeto Etanol - UNICAMP. **Etapas da produção entre a decantação e a esterilização para fermentação - produção de etanol de cana-de-açúcar**: qualidade da matéria-prima, 2013. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/workshop-etanol_carlos_rossel.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2013.
- SAFIOTTI, W. **Fundamentos da química**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.
- SAPUCCI, L. F. et al. Os últimos avanços na previsibilidade dos campos de umidade no sistema global de assimilação de dados e previsão numérica de tempo do CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, 25, 2010.
- 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.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Levantamento censitário de unidades de produção agropecuária do estado de São Paulo**. Governo de São Paulo. São Paulo. 2008.

SILVA, A. E. R. **A territorialização da Agroindústria sucroalcooleira: o processo de reestruturação produtiva no campo e os trabalhadores canavieiros da fazenda Amália/SP.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.
Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-16102007-114458/publico/TESE_ANDRE_E_RIBEIRO_SILVA.pdf.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, v. 16, 1977.

TARIFA, J. R. **Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1973.

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>.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, out 2005. 23-29. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15403/8701>.

TURK, A.; TURK, J.; WITTES, J. T. **Ecology, pollution and environment.** London: W. B. Saunders, 1972.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Sistema Circulatório e Linfático**, 2012. Disponível em: <<http://biologia.ifsc.usp.br/bio2/apostila/apost-fisiol-parte2.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2013.

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

WORLD OF HEALTH ORGANIZATION. **Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.** Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf>. Acesso em: 2013 fev. 2013.

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.

Anexos

Anexo A – Gráficos de Pontos de MP_{10} por Tempo e por Município

Anexo B – Gráficos de Cada Estação para MP₁₀ e CO

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Americana

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Araçatuba

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Araraquara

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Bauru

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Centro

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Cerqueira César

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Congonhas

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Cubatão-V. do Mogi

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Cubatão-Centro

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Cubatão-V. Parisi

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Diadema

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Em-Itaquera

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Ibirapuera

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Jaú

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Marília

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Mauá

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Moóca

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - N. S. do Ó

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Osasco

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - P. D. Pedro II

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Parelheiros

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Paulínia

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Paulínia Sul

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Pinheiros

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Piracicaba

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Pres. Prudente

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Ribeirão Preto

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Santana

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Santo Amaro

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Santo André-Capuava

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Santo André-Paço Municipal

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - São Bernardo do Campo

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - São Caetano do Sul

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - São José do Rio Preto

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - São José dos Campos

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de MP₁₀ - Sorocaba

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Campinas-Centro **Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Centro**

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Cerqueira César

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Congonhas

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Ibirapuera **Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - IPEN-USP**

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Moóca

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Osasco

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - P. D. Pedro II

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Parelheiros

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Pinheiros **Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Santo Amaro**

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - Santo André-Paço Municipal

Quantidade de Amostras por Status e por Mês de CO - São Caetano do Sul

Anexo C – Prancha de Croquis – Situação Atmosférica Modelo ETA

Prancha de Croquis 1: Situação atmosférica no continente na mínima de CO em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE

chuva acumulada em 6h (mm) as 18Z19NOV2010

temperatura (celsius) as 18Z19NOV2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 18Z19NOV2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 18Z20NOV2010

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 18Z20NOV2010

Prancha de Croquis 2: Situação atmosférica em SP na mínima de CO em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

Prancha de Croquis 3: Situação atmosférica no continente na média de CO em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

chuva acumulada em 6h (mm) as 06Z06MAY2010

temperatura (celsius) as 06Z06MAY2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 06Z06MAY2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 00Z06MAY2010

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 06Z06MAY2010

Prancha de Croquis 4: Situação atmosférica em SP na média de CO em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

Prancha de Croquis 5: Situação atmosférica no continente na mínima de MP₁₀ em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

chuva acumulada em 6h (mm) as 06Z30JAN2010

temperatura (celsius) as 06Z30JAN2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 06Z30JAN2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 06Z30JAN2010

Prancha de Croquis 6: Situação atmosférica em SP na mínima de MP₁₀ em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

Prancha de Croquis 7: Situação atmosférica no continente na média de MP_{10} em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

chuva acumulada em 6h (mm) as 18Z08NOV2010

temperatura (celsius) as 18Z08NOV2010

Linha de Corrente em 10 metros (m/s) as 18Z18NOV2010

Linha de Corrente em 850hPa (m/s) as 18Z18NOV2010

Linha de Corrente em 250hPa (m/s) as 18Z18NOV2010

Prancha de Croquis 8: Situação atmosférica em SP na média de MP₁₀ em 2010. Fonte dos dados: Modelo ETA – INPE.

Anexo D – Boletins Técnico Meteorológico – CPTEC / INPE

Datas escolhidas para análise de CO na atmosfera:

Sábado 16/06/10 – taxa: 10,22 – Máxima.

Superfície 16/06/10

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 16/06, há uma frente estacionária no sul e oeste do RS que adquire características fria no Atlântico até um ciclone de 976 hPa em oclusão localizado em 47S/48W. Nota-se forte gradiente de pressão nessa área oceânica. Entre o centro e norte da Argentina e Paraguai o escoamento apresenta uma ampla área de baixa pressão. Na Argentina e a sul de 39S há o predomínio de uma alta pressão pós-frontal, que deixa a região com pouca nebulosidade e fria. Entre o Sudeste e o Centro-Oeste o domínio é de uma circulação que tem uma crista e valor pontual de 1022 hPa no leste de MG. Esse sistema contribui para a baixa umidade do ar, a temperaturas baixas durante a noite e a ausência de ventos em grande parte dessa área. No litoral entre AL e o RN há um cavado invertido que contribui para a convergência de umidade do oceano para o continente, provocando muita nebulosidade e chuva entre o agreste e o litoral desses Estados. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) começa a se configurar a leste do Sul e do Sudeste, onde apresenta um valor pontual de 1024 hPa em 30S/48W. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) está centrada a oeste de 90W com isóbara de 1027 hPa em seu núcleo configurado em torno de 30S/108W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila em torno de 4N e 7N no Atlântico e no Pacífico por volta de 8N e 10N.

Superfície 17/06/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z de hoje (17/06), há uma frente estacionária entre o sul e oeste do RS que adquire características fria no Atlântico até um ciclone de 978 hPa em oclusão localizado em torno de 51S/40W. Nota-se forte gradiente de pressão nessa área oceânica. Entre o norte da Argentina, Bolívia e Paraguai nota-se uma área de baixa pressão de 1007 hPa. Na Argentina o predomínio é de uma alta pressão pós-frontal de 1019 hPa, que deixa a região com pouca nebulosidade e fria. Entre o Sudeste e o Centro-Oeste do Brasil o predomínio da circulação é anticiclônico com uma crista e valor pontual de 1020 hPa no nordeste de MG. Esse sistema contribui para a baixa umidade do ar, a temperaturas baixas durante a noite e a ausência de ventos em grande parte dessa área. No litoral do Nordeste há um cavado invertido que contribui para a convergência de umidade do oceano para o continente, provocando muita nebulosidade e chuva entre o agreste e o litoral desses Estados. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), começa a se configurar a leste do Sul e do Sudeste, onde apresenta um valor pontual de 1023 hPa em torno de 28S/39W. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), encontra-se alongada meridionalmente e apresenta um núcleo de 1039 hPa por volta de 52S/95W. Associado a esta alta, observa-se pulsos de alta entre 20 e 30S onde nota-se o valor pontual de 1021 hPa. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), oscila em torno de 3N e 7N no Atlântico e no Pacífico por volta de 7N e 10N. O posicionamento deste sistema, auxilia na convecção entre o AP e PA.

Superfície 18/06/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 18/06, nota-se a presença de um sistema frontal no Oceano Atlântico, a leste do litoral do PR, com centro do ciclone no valor de 995 hPa em 37S/31W. O anticiclone associado a este sistema atua entre a Argentina, Uruguai e leste do RS, com valores pontuais de 1019 hPa a leste do RS e do Uruguai e na Província de Chubut. Observa-se uma ampla área de baixa pressão entre o sul da Bolívia, Paraguai e o norte da Argentina e oeste da Região Sul. Este sistema auxilia no transporte de calor de latitudes mais baixas para estas áreas. Esta massa mais quente advectada de latitudes mais baixas, associada a presença de umidade, resquício do sistema frontal que atua sobre o Atlântico garante a instabilidade em parte do Sul do Brasil, norte e nordeste da Argentina, parte do Paraguai e Uruguai. Nota-se uma Área de alta pressão com isóbara de 1020 hPa no Atlântico e a leste do ES. Este sistema apresenta com características da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Entre a Península Antártica e o sul do Continente há uma baixa pressão

em oclusão e a frente fria associada atinge o extremo sul do Continente. No Pacífico, observa-se um sistema frontal com ciclone de 1001 hPa em torno de 39S/73W. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), encontra-se alongada meridionalmente e tem núcleo de 1039 hPa adquirindo características de uma alta dinâmica, pós-frontal, por volta de 49S/92W. Associado a esta alta, observam-se pulsos anticiclônicos em direção ao sul do Continente. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), oscila em torno de 6N e 8N no Atlântico e no Pacífico por volta de 7N e 9N. Este sistema reforça o levantamento e a instabilidade sobre parte do AP. Nota-se um cavado invertido próximo à costa de SE e AL. Este sistema intensifica a convergência de umidade na faixa leste da região Nordeste entre a PA e AL. Esta condição associada a presença do VC na alta troposfera pode ter intensificado a instabilidade sobre estas áreas potencializando a chance dos acumulados significativos de chuva superiores a 100mm ocorridos entre o dia ontem (quinta) e a manhã desta quinta-feira (ver dados observados INMET). O padrão de vento observado em 850 também mostra uma forte área de convergência sobre esta parte do país, inclusive com esta convergência estendendo-se para o norte do MA, o que pode, de certa forma, ter relacionamento estreito com a forte atividade convectiva, as chuvas fortes e os acumulados significativos observados no norte maranhense, neste mesmo período.

Sexta 19/11/10 – taxa: 3,95 – Mínima.

Superfície 19/11/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 19/11, nota-se a presença da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) atuando entre o sul da BA, TO e sul do PA. Áreas de baixa pressão configuram-se no noroeste da Argentina, indicando uma componente de norte do vento e que deverá enfraquecer este canal de umidade da ZCOU. Observa-se uma ampla área de baixa pressão a leste da Região Sul com pressão pontual de 1008 hPa. O ciclone subtropical se desintensificou e agora aparece um cavado e uma fraca baixa pressão com valor de 1004 hPa a sudeste do Uruguai sobre o Atlântico. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), tem pressão pontual de 1030 hPa em torno de 45S/29W. Sistemas frontais transientes são vistos a sul de 40S entre o Pacífico e o Atlântico. Um sistema frontal desloca-se pela Patagônia Argentina. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), atua entre os paralelos 20 e 40S, com centro a oeste de 100W, fora do domínio desta figura. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), oscila entre 5N e 10N no Pacífico e entre 5N e 8N no Atlântico.

Superfície 20/11/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 20/11, observa-se uma ampla área de baixa pressão entre o oeste e norte da Argentina, Paraguai, Bolívia e oeste das Regiões Sul, Centro-Oeste e Norte com isóbara de 1008 hPa. Esta área tem um centro de 1002 hPa sobre o norte do Paraguai e outro de 1003 hPa no noroeste da Argentina. No Atlântico, a leste da Região Sul, persiste a ampla área de baixa pressão que tem valor pontual de 1005 hPa em 34S/38W e de onde estende-se um sistema frontal em oclusão. Esta baixa e a crista a sul, associada a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que está centrada em 44S/22W com pressão pontual de 1035 hPa, indicam um padrão de bloqueio no Atlântico Sudoeste. A ASAS verifica-se bem a sul de sua posição climatológica. Uma ampla área ciclônica atua a sul de 30S no Pacífico e no Atlântico, a sul de 40S, com cavados atuando na Patagônia e com sistemas frontais sobre os oceanos. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), esta centrada a oeste do meridiano 100W com pressão pontual de 1026 hPa em seu núcleo em 34S/114W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), oscila entre 6N e 10N no Pacífico e entre 4N e 7N no Atlântico.

Quinta 06/05/10 – taxa: 6,84 – Média.

Superfície 06/05/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z do dia 06/05, o sistema frontal de fraca intensidade atua sobre o Atlântico, a leste da Região Sul do Brasil, com ciclone de 1004 hPa centrado em torno de 38S/34W. Este sistema gera um canal de umidade em direção a costa de SP, representada pelo cavado. Em áreas deste Estado, durante as primeiras horas do dia, o

resfriamento noturno, por perda de radiação provoca nebulosidade baixa e nevoeiros. O ciclone associado ao sistema frontal forma um dipolo com o anticiclone, a sul dele, com núcleo de 1017 hPa, centrado em 44S/37W. Entre o sul do continente e o extremo Atlântico Sudoeste observa-se um sistema frontal, associado a áreas de baixa pressão. Nesta área, observa-se um ciclone em oclusão, a sul do paralelo 60S, no Estreito de Drake, e outro ciclone, em formação, em torno de 52S/58W. Deste ciclone uma frente fria estende-se até a Província de Chubut. Mais ao norte, outro sistema frontal atua sobre o oceano, com ciclone em 50S/53W. A leste desta frente verifica-se um cavado sobre a Argentina. Estes sistemas descritos, associados ao padrão em níveis médio e alto, provocam instabilidade que pode ser observada na imagem de satélite. Entre a Região Norte e norte do Nordeste a atividade convectiva é gerada basicamente pelo calor e alta umidade do ar. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) tem banda dupla sobre o Atlântico, sendo o ramo principal em torno de 6N e o secundário ligeiramente a sul da linha do equador. Este ramo secundário intensifica a nebulosidade no norte da Região Nordeste. No Pacífico a ZCIT oscila em torno de 5N. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), persiste afastada de sua posição climatológica, devido ao dipolo comentado anteriormente. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), está centrada a oeste de 90W, mas estende-se zonalmente até o Chile.

Superfície 07/05/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z de hoje (07/05), nota-se a presença do ramo frio de um sistema frontal estendendo-se desde uma baixa de 990 hPa posicionada sobre o oceano Atlântico, passando pelo sul do RS, extremo norte do Uruguai propagando-se até o norte da Argentina. Este sistema acopla-se a outro sistema frontal com o ciclone em oclusão posicionado em torno de 61S/49W. Nota-se uma área de cavado atuando entre o Paraguai, oeste, norte e nordeste do RS e Atlântico adjacente. Este sistema favorece o levantamento, a advecção de umidade e massa de latitudes mais baixas e a instabilidade entre o Paraguai e o oeste do Sul do Brasil à frente do sistema frontal (ver imagem de satélite). O anticiclone pós-frontal está posicionado aproximadamente sobre a Província de Córdoba (33S/63W). A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) persiste afastada de sua posição climatológica e com núcleo de 1020 hPa posicionada a leste de 10W. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) está posicionada em torno de 35S/84W com pressão de 1028 hPa. Nota-se um sistema frontal sobre o Pacífico a sul de 40S. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) tem banda dupla sobre o Atlântico, sendo que o ramo principal está posicionado em torno de 03N e o secundário em torno de 02S. No Pacífico a ZCIT oscila em torno de 03 e 04N.

Datas escolhidas para análise de MP_{10} na atmosfera:

Sexta 24/09/2010 – taxa: 863,42 – Máxima.

Superfície 24/09/2010

Na análise sinótica de superfície da 00Z do dia 24/09, observa-se uma frente estacionária sobre oceano, com centro de baixa pressão a leste de 20W (fora domínio desta figura). Este sistema, somado com a presença de um cavado sobre o norte do RS, favorece a convergência de umidade entre o Atlântico e este último estado. Nota-se a presença de um sistema frontal com ciclone em torno de 43S/39W. Observa-se a presença de outro cavado mais ao norte, que estende-se entre o MS, SP e oceano adjacente. Uma alta pressão migratória tem seu centro de 1022 hPa a leste de Mar del Plata, na Argentina. A Alta Subtropical do Atlântico (ASAS) tem pressão pontual de 1037 hPa a leste de 20W (fora do domínio desta análise), com sua circulação atuando sobre a faixa centro-leste do Brasil como uma crista. Um sistema frontal atua sobre o Atlântico, com seu ramo frio estendendo-se até a latitude de 51S. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) apresenta máximo pontual de 1023 hPa na posição 37S/79W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscila entre 9N e 11N no Atlântico, com fraca atividade convectiva próximo do continente, e entre 8N e 10N no Pacífico..

Superfície 25/09/2010

Na análise sinótica da 00Z deste sábado (25/09), observa-se que a onda frontal a leste da Região Sul tem seu ciclone com pressão de 1012 hPa em seu núcleo em torno de 36S/41W. Deste estende-se o ramo frio sobre o Atlântico e estacionário na altura de SC. A norte deste ramo estacionário observa-se um cavado sobre SP e Atlântico, reflexo da significativa difluência em altos níveis da troposfera. Uma alta pressão migratória tem seu centro de 1028

hPa no Atlântico em torno de 40S/20W. Este sistema estende uma crista até a costa do Uruguai, associando-se ao processo de formação do anticiclone pós-frontal. A Alta Subtropical do Atlântico (ASAS) tem pressão pontual de 1035 hPa em 30S/10W (fora do domínio desta figura), e gerando um gradiente de pressão na faixa centro-leste do Brasil. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) apresenta-se enfraquecida próxima ao continente com pressão de 1021 hPa em torno do paralelo 26S. Sobre o Pacífico sudeste e o Estreito de Drake o fluxo predomina ciclônico com ondas frontais embebidas. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) persiste entre 8N e 10N no Atlântico e entre 9N e 11N no Pacífico..

Sábado 30/01/2010 – taxa: 278,32 – Mínima.

Superfície 30/01/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z de hoje 30/01, observa-se a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com núcleo pontual de 1030 hPa, centrada em torno de 40S/23W. Este sistema encontra-se amplificado e sua circulação atua sobre parte do leste do Brasil, na faixa que vai desde a PB até o Sul do Brasil. No sul do Sudeste do Brasil, este sistema transporta umidade, favorecendo a atividade convectiva neste setor. Observa-se um cavado invertido embebido na circulação da ASAS, no atlântico, a leste da Região Sul. Sobre o Atlântico, observa-se dois sistemas frontais, um deles estende seu ramo frio sobre a Província de Buenos Aires e possui baixa de 986 hPa, centrada em torno de 51S/51W. O outro sistema está posicionado a sudoeste, com baixa de 985 hPa posicionada em torno de 53S/57W, próximo ao sudeste das Ilhas Malvinas. Sistemas frontais transientes podem ser observados sobre o Pacífico, a sul de 40S. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) possui núcleo de 1026 hPa, posicionado a oeste de 100W. Nota-se a presença de áreas de baixa pressão atuando sobre o centro-norte e noroeste da Argentina. Este sistema intensifica os ventos nos baixos níveis da atmosfera, auxiliando a advecção de umidade e massa da Amazônia para o norte da Argentina. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ondula em torno de 0 e 2N sobre o Atlântico, e entre 4 e 5N sobre o Pacífico. O Cavado Equatorial estende-se sobre o continente na altura do AP, noroeste do PA, extremo norte do AM, sul de RR, extremo sul das Guianas e do Suriname e sobre a Colômbia.

Superfície 31/01/2010

Na análise sinótica da carta de superfície da 00Z do dia (01/02), nota-se a presença de um sistema frontal estacionário no Atlântico. O anticiclone migratório pós-frontal associado a este sistema, tem núcleo pontual de 1024 hPa em torno de 43S/40W embebido na circulação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que, por sua vez, tem núcleo de 1024 hPa a leste de 30W. Entre o Atlântico, as Províncias de Chubut e de Rio Negro, na Argentina, nota-se uma frente fria que tem baixa de 995 hPa posicionada em torno de 49S/66W e que está acoplada a outra frente fria que tem ciclone em oclusão a sul de 60S. Nota-se uma baixa termo-orográfica de 1003 hPa no norte da Argentina associada a uma massa de ar bastante úmida e instável que atua nesta área. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), encontra-se bem ampla e tem núcleo de 1028 hPa a oeste de 95W. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), oscila em torno de 2 e 6N no Pacífico e por volta de 1 e 5N no Atlântico. O cavado equatorial atua entre a Colômbia, sul da Venezuela, extremo norte do AM, RR, noroeste do PA, sul das Guianas e do Suriname e no AP.

Sábado 08/11/2010 – taxa: 570,42 – Média.

Superfície 08/11/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z de hoje (08/11), observa-se uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) se estendendo desde o sul da Amazônia até o Atlântico onde se acopla com um sistema frontal cujo ciclone de 981 hPa está por volta de 49S/30W. Este sistema frontal não apresenta anticiclone pós-frontal, apenas uma crista. Nota-se outro sistema frontal, este sobre o continente, posicionado sobre a Argentina apresentando forte gradiente de espessura. O ciclone extratropical associado a essa frente fria tem pressão mínima de 987 em torno de 48S e 59W. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) estende uma crista em direção ao Nordeste do Brasil. Agora ela tem pressão de 1026 hPa a leste de 24W, fora do domínio da figura. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), está fortalecida, com 1040 hPa em torno de 42S/105W, e bastante amplo. A Zona de Convergência Intertropical

(ZCIT), está pouco ativa a norte do litoral norte do Brasil, com uma ampla ondulação para norte nesta área, assim, oscilando entre 7 e 10N no Atlântico e, no Pacífico verifica-se mais zonal, entre 11 e 8N.

Superfície 09/11/2010

Na análise da carta sinótica de superfície da 00Z de hoje (08/11), observa-se uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) se estendendo desde o sul da Amazônia até o Atlântico onde se acopla com um sistema frontal cujo ciclone de 981 hPa está por volta de 49S/30W. Este sistema frontal não apresenta anticiclone pós-frontal, apenas uma crista. Nota-se outro sistema frontal, este sobre o continente, posicionado sobre a Argentina apresentando forte gradiente de espessura. O ciclone extratropical associado a essa frente fria tem pressão mínima de 987 em torno de 48S e 59W. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) estende uma crista em direção ao Nordeste do Brasil. Agora ela tem pressão de 1026 hPa a leste de 24W, fora do domínio da figura. A Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS), está fortalecida, com 1040 hPa em torno de 42S/105W, e bastante amplo. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), está pouco ativa a norte do litoral norte do Brasil, com uma ampla ondulação para norte nesta área, assim, oscilando entre 7 e 10N no Atlântico e, no Pacífico verifica-se mais zonal, entre 11 e 8N.