



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ELEMENTAR E OZÔNIO NA ATMOSFERA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

(PIBIC/CNPq/INPE)

Nome do Bolsista Tatiana Rocha Amaro (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: tctetati@yahoo.com.br

Dr^a Maria Paulete Martins Pereira Jorge (DMA/CTE/INPE, Orientador)
E-mail: PAULETE@CPTEC.INPE.BR

COLABORADORES

Dr^a Rauda Lúcia Mariani (DMA/Inpe – UFF)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a desenvolver esta pesquisa e conquistar mais conhecimento nesta área de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de iniciação científica. Também gostaria de agradecer à Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CNPq, pelo auxílio financeiro pelas viagens a congressos nacionais.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

A meus pais que são a base para minha educação.

A Dra Rauda Lucia Mariani pela dedicação, orientações, incentivo e pelo cuidado em compartilhar seus conhecimentos durante a realização deste estudo.

À Dra. Maria Paulete Pereira Martins Jorge pelas orientações, incentivo e discussões que tanto enriqueceram meus conhecimentos.

RESUMO

O carbono elementar, também conhecido como carbono estrutural, *black carbon* ou *soot carbon*, é um aerossol atmosférico proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis e queima de biomassa.

A determinação de sua concentração no ambiente urbano pode ser utilizada como traçador das fontes produtoras auxiliando nos estudos voltados à melhoria da qualidade do ar. O carbono elementar possui alta capacidade de absorção de luz, interferindo no balanço radioativo da terra; mudanças na temperatura e precipitação. Devido ao pequeno diâmetro aerodinâmico das partículas, variando de 0,03 a 0,3 μm esse aerossol é facilmente inalado, depositando-se nos alvéolos pulmonares, causando danos à saúde da população. Outros efeitos negativos da alta concentração de aerossóis são na redução da visibilidade e danos aos monumentos e construções civis.

A medida do carbono elementar é feita utilizando o “Aetalômetro”. O método baseia-se na atenuação ótica de um feixe de luz que atravessa um filtro de fibra de quartzo que recebe o material do ar constantemente amostrado. A atenuação está diretamente relacionada com a massa de carbono elementar depositada no filtro e o volume de ar amostrado.

As concentrações de carbono elementar, em geral são mais elevadas nos períodos onde as condições meteorológicas são menos favoráveis à dispersão de poluentes, aumentando o tempo de residência na atmosfera, tais como ocorrência de calmarias, inversões térmicas e ausência de precipitação pluviométrica. Variáveis meteorológicas como, como direção e velocidade dos ventos, pluviosidade e radiação solar são analisadas em paralelo às medidas de carbono elementar, para identificação das principais fontes poluidoras da região.

CONCENTRATIONS OF ELEMENTARY CARBON AND OZONE IN THE ATMOSPHERE OF SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

ABSTRACT

The elementary carbon, also known as structural carbon, black carbon or soot carbon, is an atmospheric aerosol proceeding from the incomplete fossil fuel burning and burning of biomass.

The determination of its concentration in the urban environment can be used as plotting of the producing sources assisting in the studies directed to the improvement of the air quality. The elementary carbon possesses high capacity of light absorption, intervening with the radioactive balance of the land; temperature changes and precipitation. Due to the small aerodynamic diameter of particles, varying from 0,03 to 0,3 μm this aerosol is easily inhaled, depositing itself in the pulmonary alveoli, causing damages to the health of the population. Other negative effects of the high aerosol concentration are the reduction of the civil visibility and damages to monuments and constructions.

The measure of elementary carbon is made using the "Aetalmetro". The method is based on the optic attenuation of a light beam that crosses a quartz fiber filter that receives the material from air constantly shown. The attenuation directly is related to the elementary carbon mass deposited in the filter and the showed air volume shown.

The elementary carbon concentrations, in general, are higher in the periods where the meteorological conditions are less favorable to the dispersion of pollutants, increasing the time of residence in the atmosphere, such as occurrence of calmnesses, thermal inversions and absence of pluviométrica precipitation. Meteorological variable as direction and speed of the winds, rainfall and solar radiation are analyzed in parallel to the measures of elementary carbon, for identification of the main polluting sources of the region.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SÍMBOLOS.....	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Relevância das partículas atmosféricas.....	11
2.1.1 Efeitos ambientais.....	12
2.1.2 Efeitos na saúde.....	13
2.2 Ozônio troposférico.....	15
2.3 Vulnerabilidade Regional.....	17
2.3 Circulação atmosférica.....	20
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS	
3.1 – Área de estudo.....	25
3.2 – Coleta de dados.....	26
3.2.1 – Aetalômetro.....	26
3.2.2 – Variáveis Meteorológicas	28
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES.....	29
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

- 1- Aspectos Do Meio Físico Do Município De São José dos Campos.....18
- 2- Aspectos Antrópicos Do Município De São José Dos Campos19
- 3- Valores Da Concentração De Carbono Elementar segundo data e horário das amostragens realizadas durante o período de testes.....30

LISTA DE SÍMBOLOS

-

-

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A deteriorização da qualidade do ar nos grandes centros urbanos não é um fenômeno recente e muitos países têm dedicado especial atenção no desenvolvimento de técnicas analíticas para vigilância das condições atmosféricas e no desenvolvimento o controle da poluição do ar.

Os efeitos da elevada concentração de poluentes no ar estão relacionados ao aumento de doenças respiratórias, acidificação de ambientes lacustres e florestais e alterações climáticas locais regionais e globais.

A qualidade do ar de uma área ou região é determinada através de avaliações dos diferentes de políticas adequadas para poluentes atmosféricos, que são comparados com os padrões de concentrações de poluentes estabelecidos na legislação ambiental. Entendem-se como poluentes atmosféricos quaisquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e/ou que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora; e prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Derisio, 2000).

O problema de poluição atmosférico mais sério verificado no Brasil é a emissão de material particulado pelas indústrias e pelo setor de transportes, em contraste com outros lugares do mundo, cuja maior emissão é relacionada à queima de carvão. As partículas mais danosas são aquelas iguais ou inferiores a $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO-1999).

Os níveis de poluição das grandes cidades brasileiras, em muitos casos, seguem bem acima dos padrões aceitos internacionalmente. Os níveis médios anuais das concentrações de material particulado suspenso em São Paulo e Rio de Janeiro são superiores aos níveis verificados em outras grandes cidades mundiais como Seul, Los Angeles, Buenos Aires, Nova Iorque, Tóquio e Londres.(www.sitengenharia.com.br/poluicaoalcool.htm)

O carbono elementar também conhecido como *black carbon* é um dos constituintes do material particulado em suspensão, um dos poluentes atmosféricos que ultrapassam freqüentemente os padrões estabelecidos na legislação, principalmente em ambientes urbanos. Além das indústrias, outras fontes locais que podem emitir carbono elementar para a atmosfera são os processos de combustão, como queima de combustíveis em fontes estacionárias; exaustão de veículos automotores, sobretudo a diesel; queima de biomassa e outros materiais ao ar livre.

A circulação atmosférica e condições meteorológicas definem as características de dispersão dos poluentes, favorecem ou não as reações entre as substâncias presentes na atmosfera e definem a remoção ou transporte dos poluentes. A ocorrência de uma inversão térmica, por exemplo, propicia a retenção das substâncias enquanto o rápido deslocamento das massas de ar favorece o transporte. A temperatura e umidade são fatores reconhecidamente influentes nas reações químicas em geral. Outro fenômeno que ajuda na dispersão dos poluentes são as chuvas, que absorvem gases como SO₂ e NO_x, podendo ainda agir como verdadeiros decantadores de material particulado.

Da região do Vale do Paraíba, São José dos Campos destaca-se pela expansão de contingente populacional oriundos do próprio Estado e dos vizinhos. O setor comercial, impulsionado pelo crescimento econômico e populacional do município sofreu um grande aumento depois da fase industrial (www.jatai.ufj.br/geo/geoambiente.htm)

O município de São José dos Campos possui uma grande quantidade de indústrias, caracterizando diferentes fontes emissoras de poluentes atmosféricos, destacando-se a indústria petroquímica, distribuidoras de derivados de petróleo, indústrias químicas e de fertilizantes. Além disso, possui uma extensa frota de veículos automotores e o município é cortado pela Rodovia Presidente Dutra, onde transitam cerca de 80 mil veículos por dia.

O objetivo desse trabalho é a caracterização, em relação à concentração de carbono elementar e ozônio na atmosfera de São José dos Campos, identificando as principais procedências dos poluentes analisados através da correlação com circulação atmosférica local.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Relevância das Partículas Atmosféricas

O termo material particulado refere-se a um conjunto de partículas líquidas e sólidas suspensas em um meio gasoso por um período de tempo suficientemente longo que permita sua observação ou detecção (Finlanyson & Pitts, 1986). Essas partículas ocorrem em uma faixa de tamanho que varia aproximadamente de 0,001 a 100 μm . O tempo de permanência dessas partículas na atmosfera depende basicamente de seu tamanho, portanto, quanto maior a partícula, menor é seu tempo de residência na atmosfera. A variabilidade no tamanho das partículas atmosféricas depende principalmente das fontes geradoras e dos processos posteriores que, na atmosfera, alterem suas características físicas e químicas.

O carbono elementar, também conhecido como *black carbon*, é um aerossol atmosférico característico da queima incompleta de vários combustíveis, principalmente de subprodutos do petróleo (como gasolina e óleo diesel) e da biomassa (vegetação, florestas). Por este motivo, pode ser utilizado como traçador de poluição, principalmente em áreas metropolitanas. A literatura utiliza o termo carbono elementar (CE), para definir a porção de carbono que absorve fortemente a radiação, medido através de método óptico, sendo que esta definição operacional será utilizada neste relatório (CETESB, 2006).

O carbono elementar é emitido exclusivamente por processos de combustão envolvendo materiais carbonáceos, não sendo gerado por nenhuma reação química conhecida na atmosfera. Não se degrada sob condições atmosféricas e o processo de remoção atmosférica ocorre somente por deposição seca ou úmida. Conseqüentemente, o tempo de residência na atmosfera é longo, variando de alguns dias a várias semanas, dependendo das condições meteorológicas. Pode ser transportado a longas distâncias por correntes de ar, interferindo na química e física da atmosfera não somente em escala local, mas também em escala regional. Por absorver fortemente a radiação o carbono elementar é o principal responsável pela redução de visibilidade atribuída ao material particulado. (CETESB, 2006).

Como o material particulado contém um pequeno diâmetro aerodinâmico, variando de 0,03 a 0,3 μm , o carbono elementar é facilmente inalado. Sendo este facilmente inalado, devido ao pequeno diâmetro aerodinâmico, ele deve ser medido, pois, ele pode vir a tornar-se prejudicial à saúde da população, depositar-se nos pulmões ou em outras vias respiratórias.

Padrão de qualidade ambiental é um limite legal, abaixo do qual considera-se como condição aceitável em relação aos impactos ao meio ambiente. O estabelecimento de limites de tolerância aos níveis de contaminação atmosférica é necessário para assegurar à comunidade uma condição de ar que não represente riscos à saúde e que não comprometa a qualidade de vida. Assim, o estabelecimento de padrões serve de referência quantitativa para realização de balanços entre o total de emissão de poluentes, sujeito às variáveis de dispersão (concentração local), e os níveis aceitáveis (padrões), determinando a necessidade ou não do controle (Hesket, 1972).

Através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 o IBAMA estabeleceu os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, transformados na Resolução CONAMA nº 03/90. Um padrão de qualidade ambiental é um limite legal, abaixo do qual considera-se como condição aceitável em relação aos impactos ao meio ambiente. Os padrões primários podem ser entendidos como os níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Padrões secundários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Eles podem ser entendidos como os níveis desejáveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de longo prazo (CETESB, 2005).

Para o material particulado são estabelecidos como padrão primário, o valor de 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para média geométrica anual e de 240 $\mu\text{g.m}^{-3}$ para valor de 24 horas e como padrão secundário 60 $\mu\text{g.m}^{-3}$ como média geométrica anual e 150 $\mu\text{g.m}^{-3}$ como valor para 24 horas.

2.1.1 Efeitos ambientais

Os efeitos climáticos associados aos aerossóis podem ser divididos em diretos ou indiretos. Os efeitos diretos estão relacionados à capacidade do aerossol de absorver ou refletir parte da

radiação solar. Os materiais carbonáceos em especial têm capacidade de absorver a radiação solar, portanto acumulam calor na atmosfera ao absorver a radiação solar incidente e a refletida pela superfície da terra. Os efeitos indiretos dos aerossóis são vinculados a formação dos núcleos de condensação de nuvens, interferindo nos processos de formação das mesmas (Williamson, 1973). Gases e partículas presentes na atmosfera são fundamentais na formação de nuvens, névoa e neblina, onde também se processa importantes reações na fase gás/líquida. O termo rainout refere-se às reações que se processam nas nuvens e washout aos processos que ocorrem abaixo das nuvens (carreamento, dissolução de partículas). Assim, as partículas atmosféricas são diretamente responsáveis pela difusão, transporte e deposição de substâncias acidificantes depositadas nos solos e na água podem afetar seriamente determinadas espécies de plantas e animais. Muitas dessas substâncias resultam da atividade industrial, sendo transportadas por efeito do vento através de milhares de quilômetros desde a sua fonte até serem depositadas.(Hesketh, 1972). Em muitos ecossistemas, a deposição ácida encontra-se bastante acima dos níveis de tolerâncias do ambiente. A poluição atmosférica provoca também a deterioração de materiais (borracha, materiais sintéticos, couro, tecidos, metais e outros), o que implica em prejuízo econômico, devido à necessidade de sua substituição e/ou manutenção. O desenvolvimento das atividades agropecuárias também é afetado, o que vai desde diminuição da resistência das plantas a doenças e pragas até o acúmulo de poluentes tóxicos nos animais e sua transferência a outros seres, por meio da cadeia alimentar.

2.1.2 Efeitos na saúde

Problemas como o aquecimento global, a diminuição da camada de ozônio e a acidificação são bastante preocupantes. No entanto a relação existente entre a má qualidade do ar e a saúde humana constitui uma preocupação mais imediata para muitos peritos na área da saúde, responsáveis políticos e cidadãos. A poluição atmosférica é um problema, especialmente nas nossas cidades, onde há maior densidade demográfica e maior concentração de poluentes.

A poluição atmosférica gera uma enorme degradação da qualidade de vida da população, provocando uma série de doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias.

Deve-se ressaltar que essas três categorias de morbidade compõem as principais causas de morte nos grandes centros urbanos (Braga & Saldiva, 2001). Além disso, ainda acarretam um decréscimo no sistema imunológico do indivíduo, tornando-o mais susceptível às infecções agudas.

Os mais afetados pela baixa qualidade do ar são as crianças, os idosos e as pessoas com problemas respiratórios (bronquite, asma e alergias). Em crianças, a poluição atmosférica pode resultar em significativas ausências à escola, e aumento do uso de medicamentos em crianças acometidas de asma. Nas pessoas normais, sejam elas adultas, crianças, ou idosos, a poluição ocasiona mudanças no sistema imunológico (Gonçalves et al, 2005).

A determinação do principal poluente, responsável pela causa dos problemas de saúde, é tarefa complexa devido à dificuldade em medir todos os poluentes em uma cidade como a de São Paulo. A deterioração da saúde da população residente em metrópoles com características semelhantes à de São Paulo, tem entre as várias conseqüências, um aumento do custo dos atendimentos à população nos serviços de saúde pública, dado que os altos níveis de poluição do ar, ocasionam um aumento da procura pelos prontos socorros, unidades básicas de saúde e hospitais, tanto na cidade quanto na Região Metropolitana. Em outras palavras, aumentam as consultas médicas, as hospitalizações e as mortes, ocasionando, também um incremento do consumo de medicamentos, nas faltas a escola e ao trabalho, além de restringirem a prática de atividades físicas.

Esses problemas de saúde - relacionados à poluição atmosférica por vários estudos epidemiológicos e toxicológicos, até mesmo reconhecido pela Organização Mundial de Saúde - têm alto custo social, com gastos no tratamento de saúde, perda de horas de trabalho e redução da produtividade. Outro fator importante relacionado à saúde e o material particulado atmosférico é a capacidade de absorção de outros poluentes, tais como os HPAs.

Os efeitos dos HPAs sobre a saúde humana estão diretamente associados ao mecanismo de contaminação que ocorre principalmente através da inalação de aerossóis atmosféricos. A maior parte dos HPAs presentes em material particulado atmosférico se concentram nas partículas de menor diâmetro aerodinâmico que, devido às características do sistema respiratório humano são capazes de atingir as vias respiratórias internas onde os processos de eliminação de HPAs associados às partículas é lento (Miguel e Pereira, 1989).

Devido a deposição de partículas ambientais e organismos, as vias nasais e orais são mais susceptíveis a infecções e doenças respiratórias. A deposição de partículas na região nasal e oral é considerada a primeira linha de defesa contra a penetração de partículas nas vias mais profundas, mas, também é reconhecido como um sítio de efeitos tóxicos. No Brasil, alguns estudos de monitoramento ambiental foram realizados principalmente na cidade do Rio de Janeiro (Costa, 2001). Em 1984 foram quantificados 9 HPAs em aerossóis atmosféricos coletados em locais de intenso tráfego de veículos automotores. As análises foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência com detecção por fluorescência. Os resultados demonstram uma relação direta entre as concentrações de HPAs e carbono elementar (CE) sendo que a concentração dos mesmos é maior durante o dia, porém a razão HPAs/CE é aproximadamente constante para ambos os períodos (noturno/diurno).

2.2 Ozônio troposférico

O ozônio (O_3) é um gás formado por três átomos de oxigênio, sem cor e sem odor. Seu pico na atmosfera ocorre em torno de 20 km de altura, o que se denomina camada de ozônio. Esta camada é de fundamental importância, pois absorve a radiação ultravioleta proveniente do sol, garantindo a vida na Terra. No entanto, ele é um gás de forte ação oxidante, o que o torna um poluente, mesmo em baixas concentrações na atmosfera próxima da superfície. Ele não é emitido diretamente das fontes poluidoras, mas produzido a partir de reações fotoquímicas, isto é, na presença de radiação solar, entre os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (VOC's). Esses gases, conhecidos como precursores do ozônio são lançados na atmosfera pela queima dos combustíveis fósseis nos automóveis e nas indústrias, pela evaporação de solventes, tintas, vernizes e dos combustíveis, e também pela vegetação, agropecuária e hidrologia do solo. (Rabi, 1998). A relação entre a produção de ozônio e a concentração de seus precursores na atmosfera não é linear, dependendo da capacidade oxidante do meio e da razão entre as concentrações de NO_x e VOC's. O ozônio é formado geralmente no período da tarde, quase sempre coincidindo com o pico da radiação solar. Apresenta um comportamento sazonal com valores máximos no início da primavera, época em que a radiação solar é maior em relação ao inverno, com pouca nebulosidade e conseqüente precipitação, sendo que a atmosfera ainda apresenta situações de estabilidade (inversões térmicas). O ozônio é rapidamente depositado na superfície, com uma velocidade

de deposição de 0,1 a 0,5 cm/s, o que justifica a acentuada redução de um fator de aproximadamente 10 na concentração no início da noite. No entanto, na presença de ventos mais fortes ele pode ser transportado por longas distâncias, tornando a poluição por ozônio um problema regional. Além das características meteorológicas da atmosfera, a topologia influi sobremaneira na concentração de ozônio, apresentando níveis mais elevados nas encostas das montanhas, nos vales e planícies.

O CONAMA estabelece para padrão de qualidade do ar (PQA), a concentração máxima de ozônio em 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$ e como nível de atenção 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$. O novo limite sugerido pela Organização Mundial da Saúde é de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-8h}$, que não deve ser ultrapassado mais de 3 vezes ao ano. Já o valor de referência para proteção da vegetação, em climas temperados é de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-h}$ (CETESB, 2006). O homem em seu estado de repouso respira cerca de 8 litros de ar por minuto, sendo o oxigênio um elemento essencial para a manutenção de nossas funções vitais. Estudos recentes indicam que o ozônio causa irritação dos olhos, nariz e garganta, leva ao envelhecimento precoce da pele, causa tosse, dor de cabeça, náuseas, cansaço, diminui a resistência a infecções, agrava doenças respiratórias e pode estar relacionado ao câncer de pulmão. Além de causar danos à vegetação e sistemas aquáticos, possui forte ação corrosiva e reduz a vida útil dos materiais. Em 1997, a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA) mostrou estudos que observaram danos irreversíveis nos pulmões, devido à exposição prolongada a níveis moderados de ozônio.

O ozônio geralmente apresenta uma distribuição de episódios ao longo dos meses totalmente distinta dos poluentes primários. A menor frequência de episódios na Região Metropolitana de São Paulo ocorre nos meses de maio a julho, época de menores temperaturas e radiação solar. A partir de agosto, com o aumento da temperatura e da radiação, a frequência de episódios de ozônio aumenta. De janeiro a abril, embora as temperaturas sejam elevadas, não se observa um número tão grande de ultrapassagens quanto no período de agosto a dezembro, o que pode ser justificado pelo aumento da nebulosidade no decorrer do dia, que reduz a radiação incidente nos baixos níveis da atmosfera.

2.3 Vulnerabilidade regional

O município de São José dos Campos localiza-se a leste do Estado de São Paulo, no Médio Vale do Paraíba do Sul, entre os meridianos 45°43' e 45°53' de Longitude Oeste e 23°02' e 23°10' de Latitude Sul, com 1.142 km² de área total, com perímetro urbano de 219 Km² (www.jatai.ufg.br/geo/geoambiente).

O município de São José dos Campos é constituído por três distritos: São José dos Campos (sede), São Francisco Xavier e Eugênio de Melo, além de 280 bairros. Da área total de seu território 594 correspondem à área urbana. Apresenta densidade demográfica de 516,4 habitantes por km². Ocupa posição estratégica entre São Paulo e os municípios situados no eixo da rodovia Presidente Dutra, o que explica, em parte, a força de sua atratividade para direcionar investimentos para seu setor industrial, comercial e de serviços. O município é servido por ampla malha rodoviária, composta pelas rodovias Presidente Dutra (BR-116), Dom Pedro I (SP-65), Fernão Dias (SP-50), Tamoios (SP-99), Carvalho Pinto (SP-70) e Ayrton Senna (SP-70). Por São José dos Campos passa também, a ferrovia pertencente à MRS Logística, que possibilita o acesso ao Porto de Santos e ao Estado do Rio de Janeiro, bem como aos centros econômicos mais importantes do País através de ramais ferroviários da mesma empresa. O município conta também com uma Estação Aduaneira do Interior (Porto Seco), muito importante para o escoamento de importações e exportações, além de um aeroporto internacional que tem capacidade de operação de aeronaves de grande porte.

O complexo industrial de São José dos Campos constitui-se em mais de 700 indústrias que geram cerca de 45 mil postos de trabalho. São indústrias de cadeias produtivas diversas, principalmente a automotiva, aeroespacial e de defesa, de telecomunicações, química e petroquímica, constituindo uma economia cuja escala caracteriza o município como nono PIB do País de acordo com o IBGE.

No município encontram-se empresas de grande porte tais como a Petrobrás (Refinaria Henrique Lage – Revap), Embraer (empresa que ocupa a quarta posição no mundo em seu setor) e Pilkington Aerospace, General Motors, Monsanto Ltda, Johnson & Johnson, Bundy, Kodak, Ericsson, Panasonic, LG Philips, Hitachi, Panasonic, Eaton, Heatcraft, entre outras.

2.2.1 Diagnóstico Ambiental

Na tabela 1, encontra-se a descrição detalhada do município de São José dos Campos, com relação ao meio físico, biológico e antrópico.

Tabela 1. Aspectos do meio físico do Município de São José dos Campos.

Aspectos físicos	Características
Clima	Tropical sub-quente úmido, caracterizado por um período seco de outono-inverno e um chuvoso correspondente à primavera-verão.
Precipitação	As chuvas abundantes vão de novembro a março, correspondendo a 72% do volume anual, ficando os 28% restantes entre maio e outubro. As massas de ar tropical predominam durante 50% do ano, seguidas pelas de ar frio. A pluviosidade anual varia de mais de 1700mm nos altos da Serra da Mantiqueira, e menos de 1500mm no Vale do Paraíba.
Umidade	A umidade relativa média anual é de 76%.
Temperatura	• Verão - Média da temperatura máxima - 29,6° C • Inverno - Média da temperatura mínima - 12° C
Relevo	Situa-se no Planalto Atlântico e incluem subdivisões naturais que são representadas pela Serra da Mantiqueira, Médio Vale do Paraíba e Planalto Paraitinga.
Geologia	No município ocorre uma grande diversidade de rochas como litologias do embasamento cristalino, atribuídas ao Grupo Paraíba e Grupo Açungui, sedimentos terciários do Grupo Taubaté e sedimentos Aluvionares recentes principalmente ao longo das calhas dos rios Paraíba do Sul e Buquira, e mais restritos junto as drenagens dos Rios Jaguari, Comprido, Vidoca, Putins, Alambari, Pararangaba e da divisa, dentre outros.
Geomorfologia	Está intimamente condicionada à tectônica (morfoestrutura) e foi esculpida por processos erosivos e degradação (morfoescultura). A malha urbana de São José dos Campos está concentrada em uma superfície muito rebaixada em relação ao limite total do município. Formas de origem: <ul style="list-style-type: none">• De acumulação (Planícies de Inundação, Terraços Modernos e Colinas Suavizadas);• Formas de origem estrutural (Serras e Montanhas);• E formas de origem denudacional (Morros Cristalinos). A oeste da cidade de São José dos Campos, no limite dos terraços, ocorrem as colinas, que são em geral amplas, de encostas suavemente inclinadas e topos achatados.
Solo	<ul style="list-style-type: none">• Latossolos Vermelho Amarelo Álico (Lva 9), que compreendem os solos minerais não hidromórficos, com baixa relação molecular ($K_i < 1,9$).• Podzólico Vermelho Amarelo Álico (Pva 19), são solos minerais com horizonte B textural geralmente com argila de atividade baixa.
Hidrografia	Sua hidrografia tem notável importância econômica, principalmente no setor da agropecuária, alguns cursos d'água são importantes para a formação de barragens. Possui inúmeras vertentes e mananciais que formam os ribeirões e córregos que deságuam no principal coletor, o rio Paraíba do Sul. Na margem direita, estão os afluentes Rio Comprido, córregos da Ressaca, Senhorinha, Vidoca, Lava-pés, Cambuí, Alambari, Pararangaba e da Divisa. Na margem esquerda os Rios Jaguari e do Buquira.

Fonte: www.jatai.ufg.br/geo/geoambiente

A qualidade da água do manancial é regulamentada com base na Resolução CONAMA nº 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente, sendo que o órgão ambiental do Estado responsável por este monitoramento. A qualidade da água do lençol freático é ótima, e os poços artesianos da região possuem vazão média de 30m³/hora. (Adaptada do boletim informativo da SABESP).

Da população total do município de São José dos Campos 98 % da população moram na área urbana da cidade sendo que na divisão Urbano/Rural do Município de São José dos Campos, a maior parte é destinada para área rural. Na Tabela 2, são relacionados os principais aspectos antrópicos do município.

Tabela 2 – Aspectos antrópicos do município de São José dos Campos.

ASPECTOS ANTRÓPICOS	CARACTERÍSTICAS
OCUPAÇÃO URBANA	A densidade demográfica do município compreende em aproximadamente de 539.313 habitantes sendo que 532.717 habitantes moram na zona urbana e 6.956 habitantes na zona rural. Dentre os setores mais populosos estão o Jardim Oriente/Morumbi e Campo dos Alemães, que possuem entre 40 e 50 mil habitantes, seguidos dos setores Alto da Ponte, Vila Adyanna/Esplanada, Parque Industrial, Vila Industrial e Bosque dos Eucaliptos, que têm população estimada entre 30 e 40 mil pessoas. Com população entre 20 e 30 mil habitantes, estão os setores Putim, Jardim Satélite, Pararangaba/Campos de São José e Novo Horizonte; por fim, com 10 e 20 mil habitantes, aparecem os setores Freitas/Sertãozinho, Urbanova/Aquarius, Vila São Bento/Torrão de Ouro, Santana, Capão Grosso/Bom Retiro/Serrote, Vista Verde, Eugênio de Melo, Centro, Jardim das Indústrias, Jardim da Granja e Jardim Paulista. São Francisco Xavier, com cerca de 2 mil habitantes, é o setor com menor população no município.
TRANSPORTE TERRESTRES	Cerca de 40% dos domicílios urbanos não possuíam automóvel em 2003, mas em 46% dos domicílios existia 1 veículo automotor, em 12% dos domicílios, 2 veículos e em 2% dos domicílios, mais de 3 unidades. O transporte público é realizado por quatro empresas de ônibus (Real, Capital do Vale, São Bento e Oito Irmãos). Ao todo, são 73 linhas, com utilização de 309 ônibus os quais percorrem uma média 2,0 milhões de km/mês. As linhas de transporte estão subdivididas em três regiões: na Região Norte, são 24 linhas, na Região Leste, 27 linhas e, na Região Sul, 24 linhas.
TRANSPORTE AÉREO	O Aeroporto Prof. Urbano Ernesto Stumpf de 1950 tem por objetivo principal atender o Centro Técnico Aeroespacial (CTA). Com área de 1,7 milhões de metros quadrados, atualmente passa por processo de zoneamento civil/militar, e em futuro próximo deverá ser elaborado o Plano Diretor do Aeroporto e plano de implantação da nova plataforma aeroportuária. Sua vocação é cargueira devido ao perfil industrial do município.
TURISMO	Embora a cidade se caracterize como industrial com grande presença de indústrias de ponta, preserva algumas características interioranas, com áreas verdes e bairros tranquilos. Contudo, a forma predominante de turismo é o de Negócios. Na atual conjuntura, o turismo de negócios, tecnológico, de lazer e ecológico são os segmentos mais desenvolvidos no município. Objetivando fomentar o turismo em São José dos Campos, a Prefeitura criou o Comtur-SJC (Conselho Municipal de Turismo de São José dos Campos) em 1998, que aderiu à metodologia do PNMT (Programa Nacional

	de Municipalização do Turismo) para criar seu plano de turismo.
CULTURA E LAZER	A cidade conta com diversos auditórios para reuniões e convenções, muitos deles em hotéis, 18 salas de cinema, 3 teatros e 6 auditórios, além de outros. No município, existem emissoras de rádio FM e AM, Central Regional da TV Globo, jornais diários com circulação regional e várias bibliotecas. Opções como academias de dança, grupos artísticos de canto-coral, teatro, folclore, dança, etc, são inúmeras na cidade. Os principais locais de realização de eventos são a Fundação Cultural, Museu Municipal e Teatro Municipal, mas existem também galerias de arte, centros de exposição, casas de cultura e várias bibliotecas. A Secretaria de Esportes e Lazer disponibiliza em seu site os endereços de suas unidades esportivas. Objetivando promover o desenvolvimento desportivo, foi criado o FADENP – Fundo de Apoio ao Desporto Não Profissional pela Secretaria de Esportes e Lazer, entidade que oferece apoio às ligas esportivas e às equipes representativas da cidade.
SAÚDE	O número de estabelecimentos de saúde em São José dos Campos soma 171 unidades em 2002, sendo 57 públicos e 114 privados, e desses, 6 privados e 15 públicos ofereciam serviços de internação. Além dos citados, existem 534 outros estabelecimentos do ramo totalizando 605 unidades, conforme o IBGE. O total de leitos oferecidos era de 1.427 unidades dos quais 954 são disponíveis para o SUS. Dos serviços disponibilizados pela rede hospitalar, 100 estabelecimentos atendem a planos de saúde privados e 76 prestam serviços aos SUS.
ASPECTOS ECONÔMICOS	O desenvolvimento da base industrial do município tem sido uma constante por parte da Prefeitura de São José dos Campos. Desse modo, há um conjunto de programas, instrumentos e serviços voltados ao fomento do desenvolvimento econômico apresentados a seguir: A Sala do Empreendedor - é um serviço de apoio ao empreendedor, em que dentre as facilidades oferecidas destacam-se a liberação de alvará de funcionamento no prazo de cinco dias úteis; Lei Fundo de Quintal - é um instrumento que tem por objetivo regulamentar as atividades informais realizadas em recintos domésticos, um meio de sobrevivência cada dia mais comum e importante para fazer frente ao crescente desemprego; O Posto de Atendimento ao Trabalhador (PAT) é um serviço gratuito de cadastramento da oferta de empregos das empresas locais para encaminhar profissionais desejados e oferece ainda, cadastramento de pessoas que procuram emprego; Disque-Serviços - é um programa que visa colaborar com profissionais autônomos a se organizarem para encontrarem serviços de pedreiro, encanador, e outros profissionais – serviço de apoio feitos gratuitamente; O Banco do Empreendedor Joseense (BEJ), criado em 1998, é uma parceria da Prefeitura local com instituições como a UNIVAP, CIESP, Associação Comercial e Sindicato do Comércio Varejista
INCENTIVOS FISCAIS	Para instrumentalizar sua política industrial, a Prefeitura do Município criou incentivos fiscais tanto para promover a instalação de novas empresas, como para a expansão das existentes. Os incentivos fiscais referem-se ao IPTU e ISSQN, e sua concessão e amplitude depende do enquadramento da empresa às condições estabelecidas pela Lei.

Fonte: Adaptada do site de <http://www.sjc.sp.gov.br/downloads/secretarias/planejamento/atlas.pdf>

2.3 Circulação atmosférica

As condições meteorológicas são fatores fundamentais na caracterização da qualidade do ar, pois são responsáveis pela dispersão dos poluentes emitidos pelas fontes fixas ou móveis e podem favorecer ou não as interações físicas e químicas que ocorrem na atmosfera entre eles. Situações meteorológicas distintas, mas com idênticas produções de poluentes, poderão apresentar concentrações atmosféricas completamente diferentes, devido à influência das condições da atmosfera. O regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação

solar, a temperatura ambiente, a opacidade, a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a ocorrência de chuvas são alguns fatores climáticos locais, que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. A circulação geral da atmosfera também interfere na dispersão, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação local (Sanchez & Ccoyllo, 2002).

A direção e velocidade dos ventos são importantes parâmetros nos estudos de caracterização da qualidade do ar, pois são os principais responsáveis pelo transporte de poluentes ou seus precursores, definindo os processos de dispersão atmosférico. Os ventos são resultantes do deslocamento de massas de ar, devido aos efeitos das diferenças de pressões atmosféricas entre duas regiões distintas, e é influenciado por efeitos locais como a orografia e a rugosidade do solo. Essas diferenças de pressão têm uma origem térmica estando diretamente relacionadas com a radiação solar e os processos de aquecimento das massas de ar. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição das plumas de poluição. A velocidade do vento aumenta em altura afetando de uma maneira mais direta a massa de poluentes emitidos pelas chaminés de grande altura principalmente no momento inicial da mistura dos gases de saída com a camada atmosférica. Em situações de calmaria, ocorre estagnação do ar, proporcionando, um aumento nas concentrações dos poluentes.

A umidade relativa é a razão, expressa em porcentagem, entre a quantidade de vapor contida no ar e a quantidade máxima que poderia conter, na pressão e a temperatura em que se encontra é o índice mais usado popularmente, pois dá uma idéia de sensação fisiológica da umidade.

Radiação solar é a designação dada à energia radiante emitida pelo sol, transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Cerca de metade desta energia é emitida como luz visível na parte de frequência mais alta do espectro magnético e o restante na banda do infravermelho próximo e como radiação ultravioleta. A radiação solar fornece anualmente para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, sustentando a maioria das cadeias tróficas, sendo assim o verdadeiro sustentáculo da vida na Terra, é principal responsável pela dinâmica da atmosfera terrestre e pelas características climáticas do planeta. As implicações diretas da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à indução desta na formação de

oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. O ozônio é formado na atmosfera por reações fotoquímicas que dependem da intensidade da radiação solar.

Indiretamente, um maior período de insolação pode induzir a um maior aquecimento da superfície, do que pode resultar o surgimento de movimentos verticais localizados, transferindo energia para a atmosfera, além do que criando turbulência e mistura dos poluentes nos baixos níveis.

A temperatura do ar constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes. Temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados (convecção), gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem aos movimentos verticais termicamente induzidos, o que permite a manutenção de poluentes atmosféricos em níveis mais baixos.

A estabilidade atmosférica é que determina a capacidade do poluente de se expandir verticalmente. Em situações estáveis na atmosfera, cria-se uma barreira ao deslocamento vertical dos poluentes. Quando ocorre o fenômeno da inversão térmica, a capacidade de dispersão fica bem limitada. A inversão térmica acontece quando uma camada de ar quente se instala acima de camadas mais frias próximas da terra. Em geral, a atmosfera esfria a medida em que aumenta a altitude, porém devido ao movimento das massas de ar ou pelo tipo de incidência dos raios solares sobre a Terra, o fenômeno da inversão térmica ocorre; e com ele, todos os poluentes que estão presentes no ar e mais próximos do solo ficam ali confinados. As inversões térmicas são as que mais contribuem para o aumento da concentração de poluentes, mais próximo à superfície.

Os processos atmosféricos e a circulação associada aos grandes centros de pressão determinam e afetam o estado do tempo sobre os continentes e grandes oceanos do globo. Aos centros de altas pressões denominados de anticiclones estão associadas condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade com pouca mistura vertical e portanto fraca dispersão dos poluentes. Ao aproximar-se de um sistema de baixa pressão ocorrem condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes. Estas situações que influenciam as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera

têm por vezes durações mais ou menos prolongadas podendo, nas condições desfavoráveis à dispersão, levar a episódios de altas concentrações de poluentes.

Os ventos em superfície, que antecedem os sistemas frontais (frentes frias) são predominantes do quadrante norte e têm sua trajetória continental, enquanto que os ventos na retaguarda das frentes frias são do quadrante sul-sudeste. A mudança de direção do vento pode ser interpretada como decorrente da penetração da frente e conseqüentemente com reflexos nas concentrações dos poluentes, caracterizando-se o transporte de longas distâncias ou não. A pressão atmosférica também pode ser indicativa da proximidade dos sistemas frontais. O comportamento da pressão atmosférica no momento que antecede a chegada de uma frente fria diminui gradativamente, elevando-se à medida que a frente fria passa por uma determinada região.

Os resultados obtidos em estudos realizados na Região Metropolitana de São Paulo mostram que os episódios mais intensos de poluição do ar, exceção feita aos episódios por ozônio, ocorrem na presença de um sistema de alta pressão (anticiclone) semi-estacionário sobre a região, que provoca condição meteorológica desfavorável à dispersão dos poluentes, com a atuação de ventos fracos e a formação de inversões térmicas próximas à superfície, entre outros fenômenos observados. A mudança desta situação de estagnação ocorre normalmente quando um sistema frontal atinge a região, instabilizando a atmosfera e aumentando a ventilação, o que favorece a dispersão dos poluentes. A mudança de uma situação desfavorável para favorável à dispersão de poluentes ocorre normalmente quando um sistema frontal atinge a região, uma vez que torna instável a atmosfera e aumenta a ventilação.

Processos de remoção/deposição de poluentes

Os principais processos de remoção ou deposição de poluentes são decorrentes da deposição atmosférica através da deposição úmida, deposição seca e absorção direta de gases. A deposição seca ocorre na ausência de chuvas, quando então a deposição do material atmosférico se dá através da sedimentação e impactação de partículas e também pela absorção direta de gases sobre a superfície.

A deposição úmida ocorre sob formas de chuvas, névoas ou neblinas, onde as partículas e/ou gases são incorporados pelas nuvens por difusão e subseqüentemente

carreadas para o solo. A ocorrência de precipitação pluviométrica, além de ser um indicador de que a atmosfera está instável, ou seja, com movimentos de ar que favorecem a dispersão de poluentes, ela promove a remoção dos mesmos, pois partes significativas desses poluentes são incorporados à água da chuva, “limpando” a atmosfera. Além disso, o solo úmido evita que haja re-suspensão das partículas para a atmosfera.

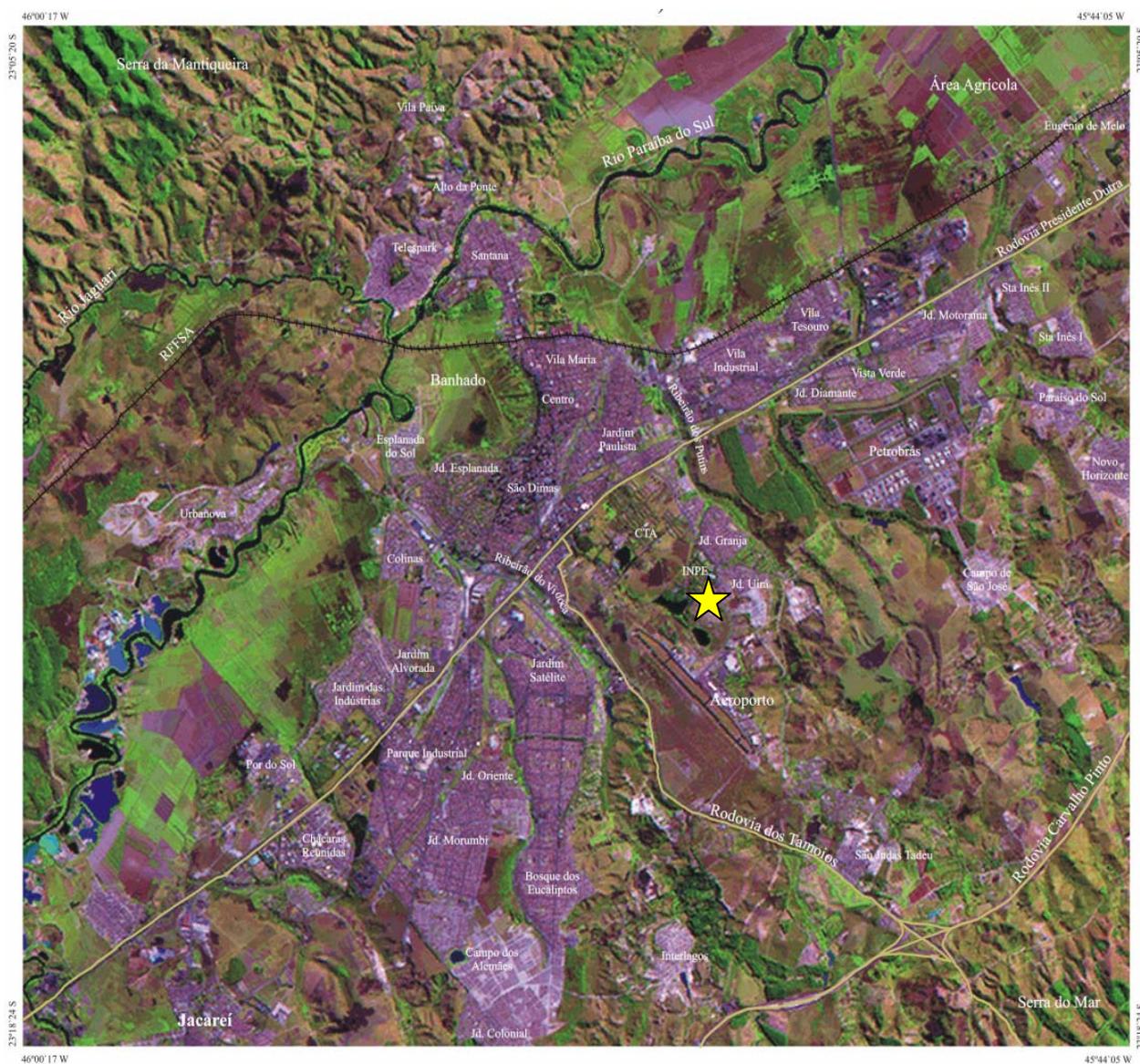
Alguns poluentes permanecem na atmosfera por períodos suficientemente longos para serem transportados na atmosfera. Assim nem sempre as deposições são reflexas somente das atividades de uma determinada área. Uma ferramenta bastante utilizada nos estudos de transporte de poluentes constitui-se na correlação entre os componentes químicos das águas de chuva e os fatores meteorológicos responsáveis pela formação e procedência das precipitações.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

As amostras de CE utilizadas nesse trabalho foram coletadas nas dependências do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos, próximo à Estação Meteorológica, situado na avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja em São José dos



Fonte: Cptec –Inpe – Escala 1:50.000

FIGURA 1 – Carta imagem de São José dos Campos, SP – Brasil. Satélite Landsat.

Campos, São Paulo. A figura 1, é uma carta imagem de São José dos Campos, SP – Brasil, do satélite Landsat gerada na Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE em escala 1:50.000, com a localização do ponto de coleta de dados meteorológicos e de CE.

3.2 Coleta de dados

Os dados referentes á concentração de carbono elementar, apresentados nesse trabalho correspondem aos resultados obtidos durante o período de calibração e testes do aetalômetro e mais 3 séries contínuas. Durante o período de verificação e calibração do equipamento, que correspondeu aos dias 12, 14, 16, 28, 30 de setembro e 14 de outubro, as amostras foram coletadas em intervalos de tempos diferentes. Após a realização de alguns testes, optamos pela captação dos resultados num intervalo de 1 hora. As séries contínuas referem-se aos seguintes períodos: 3, 4 e 5 de outubro; 7, 8 e 9 de outubro e 15, 16 e 17 de março de 2006, com amostras coletas intermitentes.

Os valores de concentração de ozônio troposférico utilizados nesse trabalho, são procedentes da Estação meteorológica da Cetesb em São José dos Campos, que monitora o material particulado, dióxido de enxofre e ozônio de modo automático e contínuo. Os dados são disponibilizados diariamente no site www.cetesb.sp.gov.br.

3.2.1 Aetalômetro

O aetalômetro (fabricado pela empresa Magee Scientific), medidor de carbono elementar, é constituído de uma bomba de circulação que força a passagem de um alto volume de ar por um filtro, sensores eletrônicos que monitoram o estado desta bomba e deste filtro e de um computador (Compatível PC) conectado em regime dedicado pela RS232 a estes sensores. Um programa residente na memória do PC analisa periodicamente os sinais enviados pelos sensores e calcula a quantidade de Carbono Elementar depositado na

superfície do filtro a cada período. A coleta de dados do Carbono Elementar é feita em tempo real.

O aetalômetro possui um cilindro central onde estão localizados os principais componentes mecânicos e elétricos responsáveis pelo funcionamento deste. O ar bombeado passa pelo cilindro central do aetalômetro através de uma mangueira translúcida até atingir o filtro de microfibras de quartzo. A passagem de ar por este filtro é feita apenas na região central. O carbono elementar – CE, presente no ar é retido então neste ponto do filtro. A FIGURA 2 mostra o esquema da passagem do ar no aetalômetro.

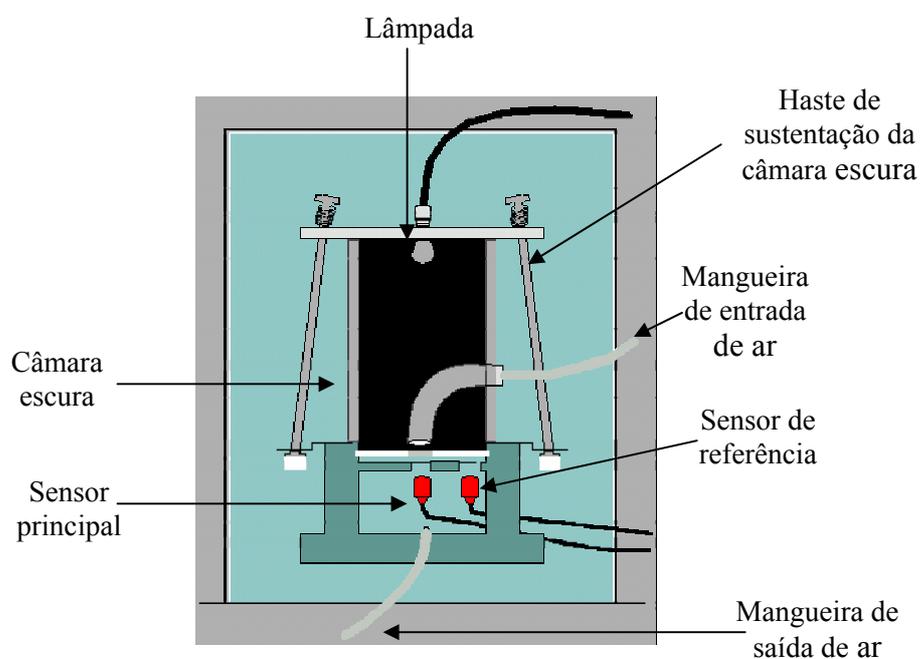


Figura 2. Funcionamento do Aetalômetro

Periodicamente o equipamento interrompe o fluxo de ar e comanda o acendimento da lâmpada instalada no interior do cilindro e esta permanece acesa para realização da medida. Dois sensores ópticos captam a intensidade da luz que passa através do filtro, um posicionado sob a parte limpa do filtro e outro sob o ponto onde as partículas são retidas.

As intensidades observadas pelos sensores são enviadas ao programa residente no PC e este, utilizando também as intensidades observadas na medida anterior, calcula a concentração do carbono elementar.

3.2.2 Variáveis Meteorológicas

Os dados utilizados durante a realização deste trabalho foram adquiridos no site das Funcate, através do serviço Stradema Web. Neste serviço constam quatro unidades meteorológicas, porém foi utilizada somente uma, a estação meteorológica do INPE. As variáveis meteorológicas utilizadas foram: direção e velocidade dos ventos, pluviosidade, radiação incidente, temperatura, umidade e pressão atmosférica. Os dados são disponibilizados num intervalo de 10 em 10 minutos. Foi feito um banco de dados correspondendo aos períodos onde foram efetuadas as 3 coletas contínuas de CE, seguido de tratamento estatístico para determinação de média horária para cada parâmetro supra citado, com exceção dos dados referentes à pluviosidade, que foi tomada acumulativamente. A direção dos ventos foi captada originalmente considerando 16 setores de vento com intervalo de $22,5^\circ$, a partir do norte e direção horária.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISES

Os valores de concentração de CE, em ng.m^{-3} , obtidos durante o período de testes e otimização do equipamento estão relacionados na TABELA 3. Esse resultados são compatíveis com os valores encontrados em Maldonado (2003), que avalia uma série temporal de concentração de carbono elementar na Ilha Grande, localizada no Estado do Rio de Janeiro. O referido autor destaca diferenças significativas em termos sazonais, e ampla faixa de concentrações, com valores entre 10 e $3211,6 \text{ ng.m}^{-3}$. Os valores de concentração de CE apresentados na tabela abaixo foram obtidos durante o mês de setembro e outubro, onde é esperado maior concentração de poluentes, devido a elevada radiação e fraca dispersão meteorológica da região, nessa época do ano. O valor máximo de CE $3607,9 \text{ ng.m}^{-3}$, corresponde à coleta efetuada no dia 14 de outubro de 2005. A pluviosidade total nesse mês foi de 21 mm, sendo que ocorreram apenas 3 eventos pluviométricos. O primeiro e segundo eventos ocorreram 9 dias antes da data da coleta e, o terceiro evento ocorre no dia 14 de outubro, porém 2 horas após a coleta; caracterizando condições desfavoráveis a dispersão de poluentes. Já no período entre os dias 12 e 16 de setembro, a quantidade de chuvas foi mais significativa. No dia 12 de setembro, concentração de CE corresponde a $1256,6 \text{ ng.m}^{-3}$, choveu a partir de 22:00 horas (1,6 mm), e continuou tempo chuvoso até dia 14 de setembro, onde a quantidade total de chuva até às 8:00 foi de 9,4 mm. Quando ocorreu a coleta no dia 14 às 14:00 horas a atmosfera apresentava-se limpa e propícia a baixos resultados de CE.

As séries contínuas, que passaremos a denominar séries 1, 2 e 3, correspondem aos períodos entre os dias 3, 4 e 5 de outubro de 2005; 7, 8 e 9 de outubro de 2005; e 15, 16 e 17 de março de 2006, respectivamente. As figuras 3, 4 e 5, mostram os valores correspondentes às concentrações de CE para as referidas séries.

TABELA 3 – Valores da concentração de Carbono Elementar (ng.m^{-3}) segundo data e horário das amostragens realizadas durante o período de testes.

Data	Hora	CE (ng.m^{-3})
12/09/05	15 - 16:00h	1256,6
14/09/05	14 - 16:30h	543
16/09/05	15 - 16:00h	638,8
28/09/05	15 - 17:00h	712,5
30/09/05	15 - 16:00h	745,8
14/10/05	15 - 17:00h	3607,9

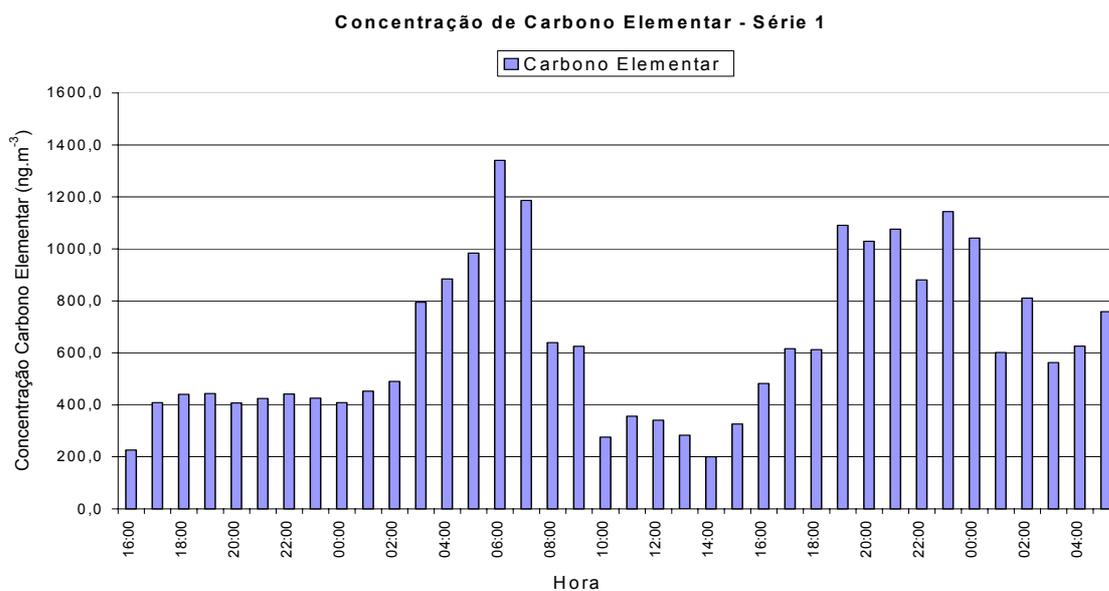


FIGURA 3 – Concentração de carbono elementar no Período de 3 a 5 de outubro de 2005

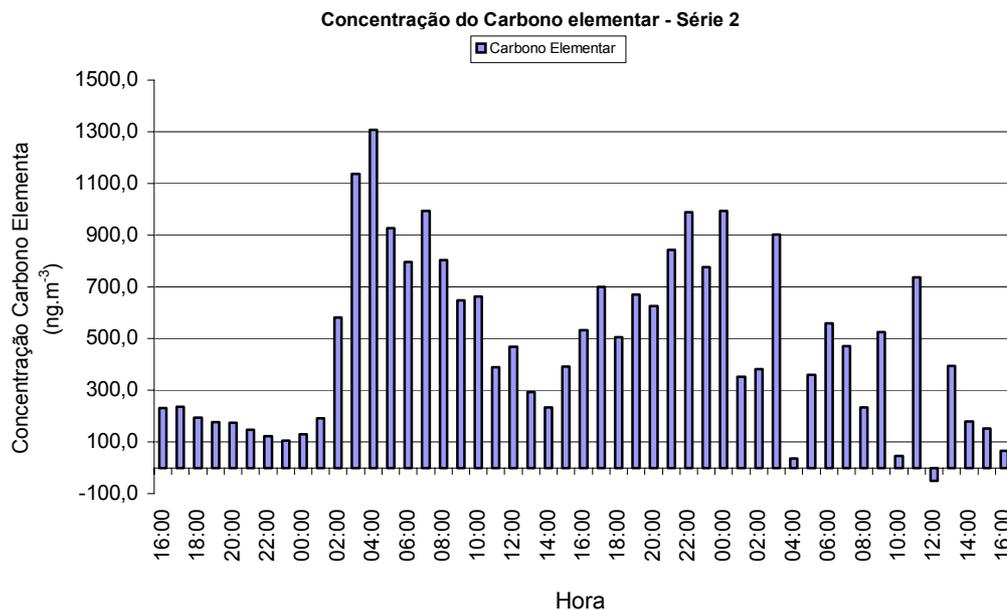


FIGURA 4 – Concentração de carbono elementar no Período de 7 a 9 de outubro de 2005

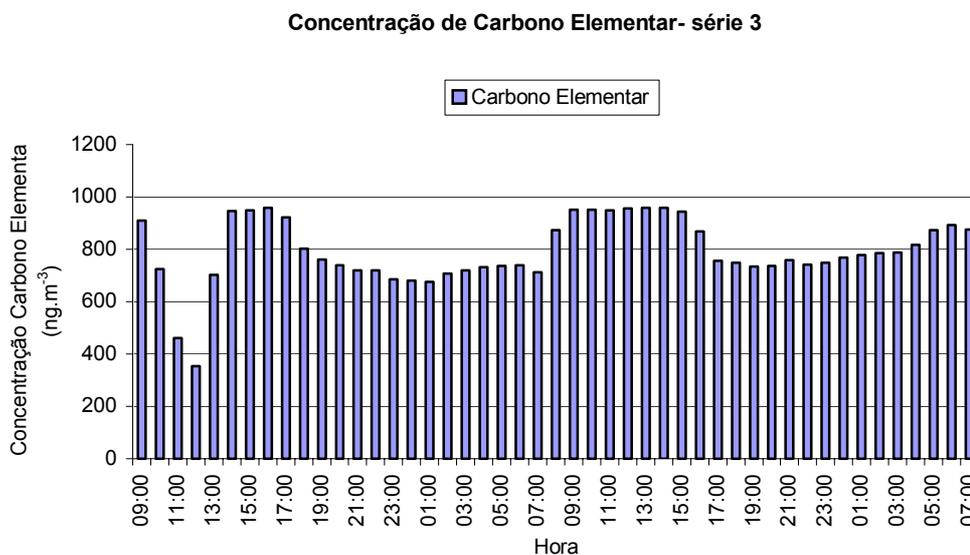


FIGURA 5 - Concentração de carbono elementar no Período de 15 a 17 de outubro de 2005.

As séries contínuas 1 e 2 apresentam comportamento similares, com valores mais elevados no início da madrugada e reduzindo a concentração durante a manhã. Outro pico começa a surgir a partir do início da noite, entre 18 e 19:00 horas. O pico noturno pode ser um reflexo do aumento do tráfego veicular. Latha & Badarinath (2005), em quantificação de CE na Índia, também mostram variações diurnas com picos de concentração em 7 e 9:00 horas da

manhã e pico noturno, após pô do sol, entre 21:00 e 2:00 horas. A série 3 não segue o padrão observado para as 2 outras séries, apresentando valores mais constantes e elevados.

A direção predominante dos ventos, observadas nas figuras 6, 7 e 8, mostram a frequência da direção dos ventos nos dias correspondentes às séries analisadas. Esses diagramas de frequência foram feitos com base em dados com intervalos de 10 em 10 minutos, considerando 16 setores de vento, com intervalo de 22,5°, começando com norte e direção horária.

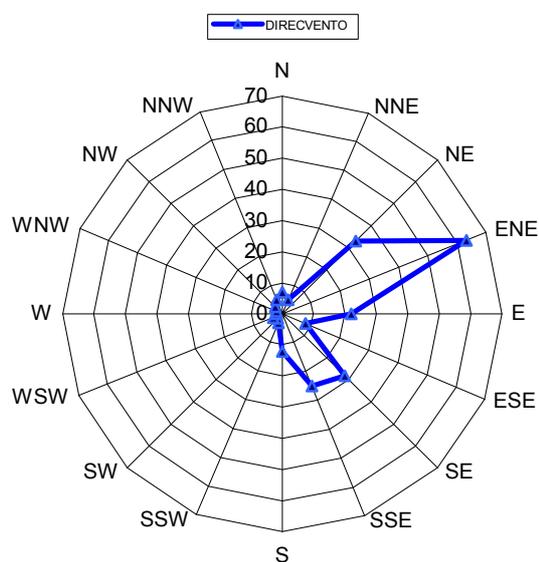


FIGURA 6 – Direção predominante dos ventos no período de 3 a 5 de outubro de 2005

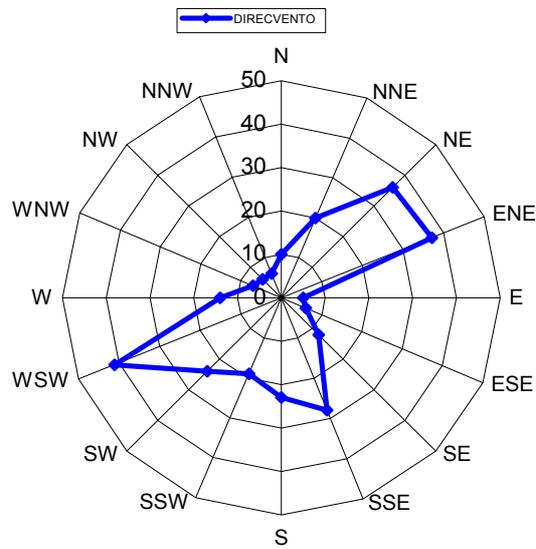


FIGURA 7 – Direção predominante dos ventos no período de 7 a 9 de outubro de 2005

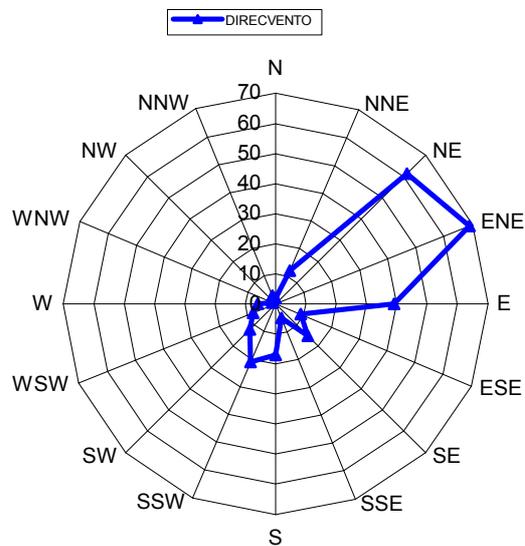


FIGURA 8 – Direção predominante dos ventos no período de 15 a 17 de março de 2006

As FIGURAS 9, 10 e 11, mostram as concentrações de CE, ozônio e os principais parâmetros meteorológicos. Observa-se que a influência da radiação, umidade e temperatura é marcante para o ozônio que apresenta um pico máximo de acordo com a elevação da radiação, aumento da temperatura e redução da umidade. O CE apresenta dois picos de

concentração nas séries 1 e 2, porém a radiação acompanha a variação da concentração no CE apenas na série 2.

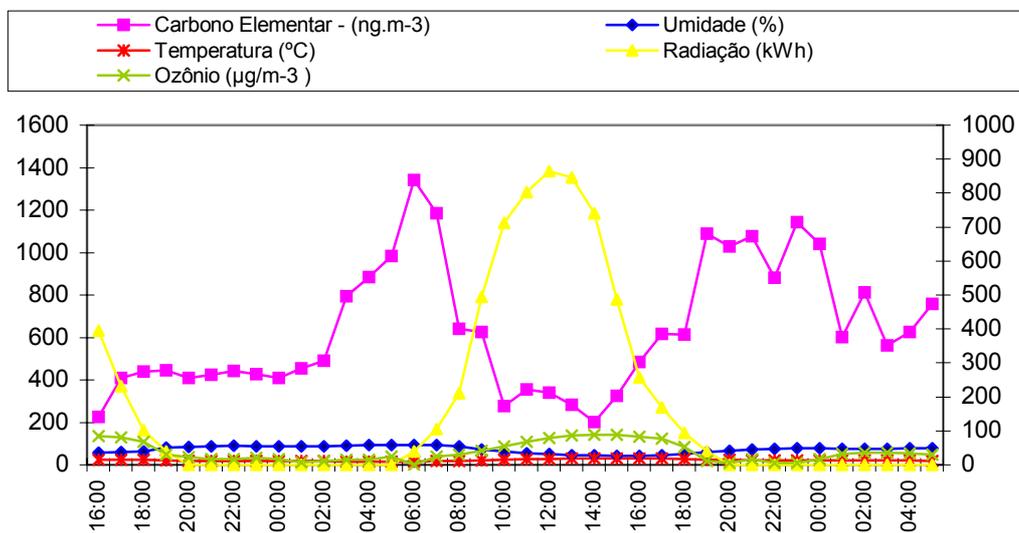


FIGURA 9 – Concentração de CE, ozônio e parâmetros meteorológicos para a Série 1

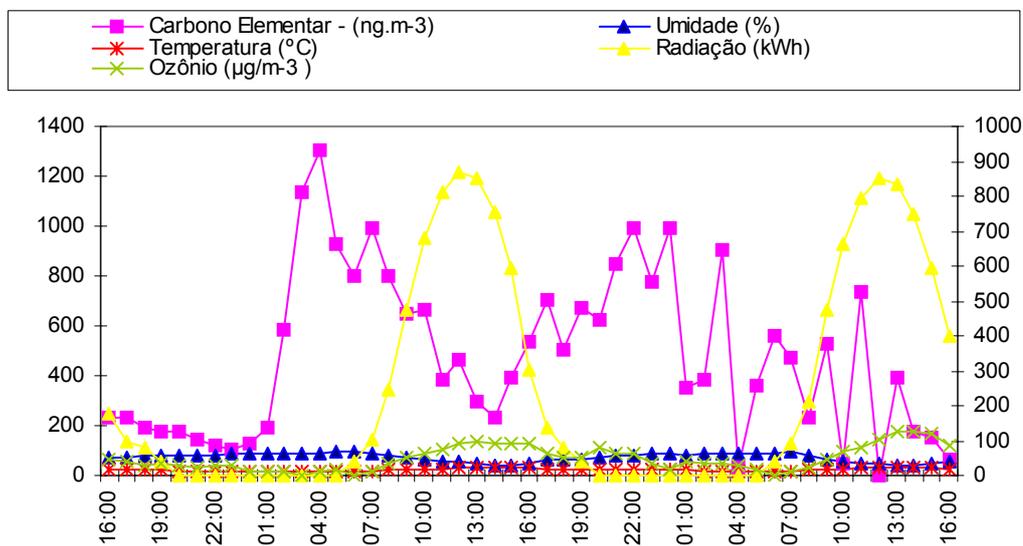


FIGURA 10 – Concentração de CE, ozônio e parâmetros meteorológicos para a Série 2

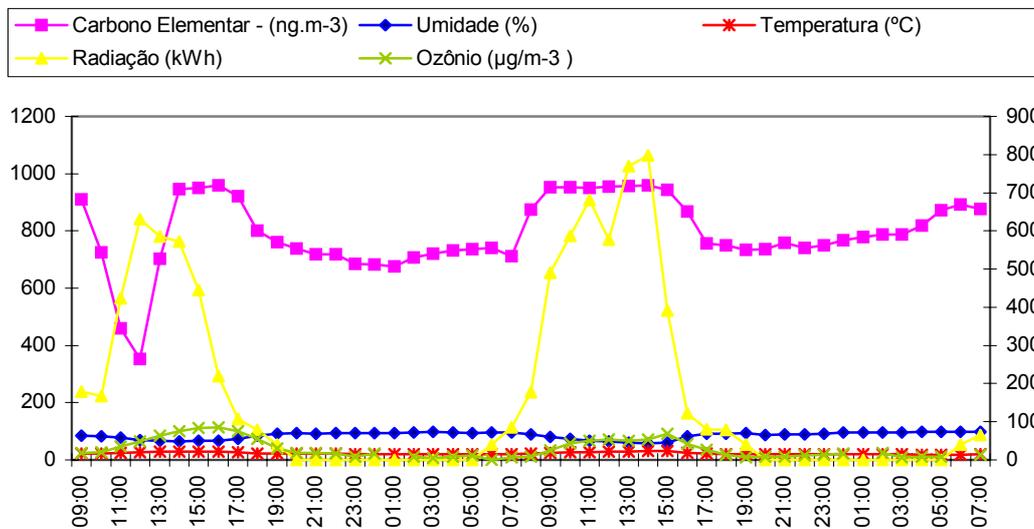


FIGURA 11 – Concentração de CE, ozônio e parâmetros meteorológicos para a Série 3

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os valores de concentração de carbono elementar identificados nesse trabalho são compatíveis com os encontrados em outros ambientes urbanos, com valores entre 54 e 3607,9 ng.m⁻³. O valor médio deixa de ter significância, pois não foram feitas medidas contínuas ou em quantidade suficiente para caracterização de sazonalidade.

De acordo com os dados analisados, a influência radiação, temperatura e umidade, são mais efetivos para explicar a variação diária das concentrações de ozônio do que para justificar o comportamento da concentração do carbono elementar. A ocorrência de pluviosidade foi um parâmetro que mostrou grande influência na concentração de carbono elementar, apresentando valores reduzidos após ocorrência de chuvas, mesmo em dias anteriores à coleta.

O município de São José dos Campos apresenta-se como uma região provavelmente poluída, devido ao elevado número de indústrias, alta densidade demográfica e excesso de veículos. Os efeitos de transporte de poluentes também devem ser observados devido proximidade com os maiores centros urbanos do País. O único sistema de monitoramento atmosférico do município é feito pela Cetesb, em uma estação incompleta que não pode ser considerada representativa da região.

A necessidade de trabalhos na caracterização e monitoramento da qualidade do ar, revela-se extremamente importante para a região, para prevenir problemas relacionados à saúde da população e fundamentar ações de planejamento e desenvolvimentos urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Braga, A. L.F., Saldiva, P.H.N. **Poluição e Saúde**. Jornal de Pneumologia, Soc. Brasil. Pneumol. E Tisiol, 2001. PS10-S16.

Braga, B et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Pearson, Prentice Hall, 2002. 305p.

Carmo, R. L. et al. **Atlas das Condições de Vida em São José dos Campos. Texto disponível:** <http://www.sjc.sp.gov.br/downloads/secretarias/planejamento/atlas.pdf>

CETESB. **Avaliação das concentrações de material carbonáceo escuro na atmosfera do município de paulina – janeiro/2003 a julho/2004**, CETESB, 2006. Texto disponível: www.cetesb.sp.gov.br

CETESB. **Estudos investigativos da ocorrência de ozônio troposférico na região de Sorocaba – SP setembro/2004**, Cetesb. Texto disponível: www.cetesb.sp.gov.br

CETESB. **Relatório de qualidade do ar**. 2004, CETESB, 2005. Texto disponível: www.cetesb.sp.gov.br

Costa, Alcilea Fátima. **Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: determinação de 1-hidroxipireno urinário**. [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 2001. 80 p.

Derisio, C.D. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Signus Editora, 2000. 160p.

Finlayson-Pitts, B. J. and Pitts Jr., J. N., **“Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques”**, John Willey & Sons, Inc., 1986

Gonçalves, F. L. T. ; Carvalho, L M ; Conde, F. C ; Latorre, M. R. D.; Saldiva, P. H. N. ; Braga, A. L. F. **The Effects of Air Pollution and Meteorological Parameters on Respiratory Morbidity During the Summer in São Paulo City**. Environment International, v. 31, n. 3, p. 343-349, 2005.

Hesketh, H. E. **“Understanding and Controlling Air Pollution”**, Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1972

Hetal, C. **Ilha Grande: localização entre dois centros urbanos, Rio de Janeiro e São Paulo, transformou o local em centro de estudos desenvolvidos sobre o black carbon.** Texto disponível: http://www2.uerj.br/~emquest/emquestao76/ilha_grande.htm

Jacob, D. J. “**Introduction to Atmospheric Chemistry**”, Princeton University Press, 1999.

Latha K. M. & Badarinath K. V.S. **Seasonal variations of black carbon aerosols and total aerosol mass concentrations over urban environment in India.** Atmospheric Env. V39, I22, p 4129-4141, 2005.

Maldonado, J. **Carbono elementar como traçador atmosférico no eixo litorâneo Rio de Janeiro – São Paulo.** Rio de Janeiro, universidade do estado do Rio de Janeiro, 2003.

Miguel, A. H.; Pereira, P. A. P.,. **Aerosol Sci. Technol.** 10: 292-295. 1989

Mota, S. **Engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

Nascimento. P. S. R. **Aspectos geomorfológicos do município de São José dos Campos (SP): ênfase na área urbana.** Jataí – GO, 2005. Texto Disponível: www.jatai.ufj.br/geo/geoambiente.htm, 31/05/2006

Rabi, A., Eyre, N., “**An estimate of regional and global O3 damage from precursor Nox and VOC emissions**”, Environment International, 24(8), 835-850, 1998.

Sánchez-Ccoyllo, O. R., Andrade, M. F., “**The influence of meteorological condition on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil**”, Environmental Pollution, 116, 257-263, 2002.

WHO, - World Health Organization. **Monitoring ambient air quality for health impact assessment.** Who regional publications, European series n°85, 1999. 216p.

Williamson, S. J. **The Atmosphere. Fundamentals of air pollution,** 328p.

_____. **Áreas de Alta Poluição Atmosférica Urbana.** Texto disponível: <http://www.sitengenharia.com.br/poluicaoalcool.htm> 30/06/2006