

## FATORES QUE INFLUENCIAM NA CONCENTRAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL NA CIDADE DE JUIZ DE FORA (MG)

**Fillipe Tamiozzo Pereira Torres**

Prof do Curso de Geografia da Universidade Presidente Antônio Carlos  
[torresftp@yahoo.com.br](mailto:torresftp@yahoo.com.br)

**Luiz Alberto Martins**

Prof do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora  
[lalberto@artnet.com.br](mailto:lalberto@artnet.com.br)

### RESUMO

*A implantação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar em Juiz de Fora (MG) indica em seus resultados preliminares a forte influência da configuração do espaço urbano e das atividades desenvolvidas na concentração de partículas inaláveis (MP-10). Junto às fontes poluidoras, basicamente veículos automotores, a direção e a velocidade do vento, associados ao adensamento urbano em fundo de vale, concorrem para baixa qualidade do ar observada na área urbana do município.*

**Palavras-chave:** Climatologia Geográfica – poluição – qualidade do ar.

## FACTORS THAT INFLUENCE IN THE CONCENTRATION OF INHALEABLE PARTICLES MATERIAL IN THE JUIZ DE FORA TOWN (MG)

### ABSTRACT

*The implantation of an air quality attending net in Juiz de Fora – MG, indicates, in its preliminary results, the strong influency of the urban space configuration and the activities developed in the concentration of inhaleable particles (MP-10). Close to the pollution source, basically motorized vehicles, the wind direction and speed, associated with urban density in the deep of the valley, aid to the development of the low air quality observed in the municipal urban area.*

**Palavras-chave:** Geographic climatology; Pollution; Air quality.

I

## INTRODUÇÃO

No último século tem-se assistido ao apogeu da intervenção do homem no planeta com o surgimento dos motores à combustão, com a queima de combustíveis fósseis e o surgimento das usinas siderúrgicas e de produtos químicos, entre outros. Estes processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiente, a toxicidade dos resíduos produzidos ou os prováveis danos à saúde. Por isso, nos últimos 70 anos, temos nos deparado com os resultados desastrosos deste processo desordenado e lutado para entender o que são os resíduos dessa corrida desenvolvimentista para evitarmos, ou pelo menos amenizarmos, seus efeitos deletérios para o planeta e seus habitantes.

Um dos elementos que mais tem sido agredido pelo homem é o ar. A poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema dos centros urbanos industrializados, com presença cada vez maior dos automóveis que vieram a se somar às indústrias como fontes poluidoras, tornando assim, o estudo sobre o tema, um fator imprescindível para a qualidade de vida da população urbana.

Recebido em 01/07/2005  
Aprovado para publicação em 18/09/2005

Os fenômenos meteorológicos, por sua vez, exercem um papel fundamental em relação à poluição do ar. As condições meteorológicas possibilitam estabelecer uma forma de ligação entre a fonte poluidora e o receptor, tendo como referência o transporte e a dispersão dos poluentes.

Neste contexto, a existência do LabCAA( Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental) da Universidade Federal de Juiz de Fora, foi determinante na iniciativa conjunta com a FEAM e as empresas envolvidas. Caberia ao LabCAA, através de equipamento específico, monitorar a quantidade de partículas inaláveis em suspensão na área urbana da cidade.

O Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental é responsável também, pela operação da Estação Climatológica Principal (ECP) de Juiz de Fora (convênio UFJF/INMET/5°DISME). Além disso, possui instalada uma rede de postos de observações meteorológicas de superfície na área urbana do município e desenvolve pesquisas na área de climatologia urbana e regional.

### **Poluição do Ar**

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo (CETESB), nível de poluição do ar vem a ser a quantificação das substâncias poluentes presentes no mesmo. Considera-se poluente toda e qualquer substância presente no ar, e que, pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, ou possa trazer qualquer prejuízo direta ou indiretamente ao bem estar público.

Existem diversos poluentes atmosféricos, mas, vamos nos ater apenas aqueles que fazem parte do cálculo do índice de qualidade do ar (CETESB), não só por fazerem parte deste último, mas também por serem comuns, especialmente nas áreas urbanas e industriais cotidianas.

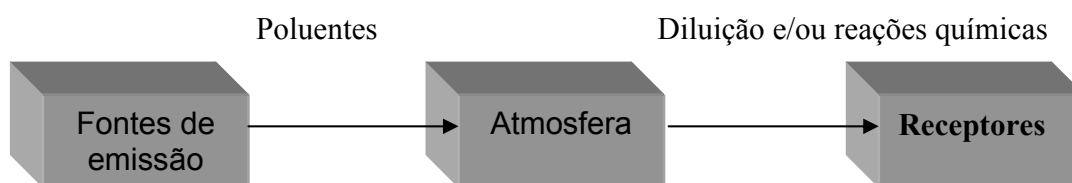
São sete os poluentes englobados no índice de qualidade do ar:

1. dióxido de enxofre;
2. poeira total em suspensão ou material particulado total;
3. material particulado inalável;
4. fumaça;
5. monóxido de carbono;
6. ozônio;
7. dióxido de nitrogênio.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados de acordo com sua formação, sendo divididos em Poluentes Primários e Secundários. Poluentes primários são aqueles emitidos diretamente das fontes emissoras e estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos. Podemos citar: poeiras, compostos de enxofre (dióxido de enxofre, mercaptanas, gás sulfídrico etc.), óxidos de carbono (monóxido e dióxido de carbono), compostos de nitrogênio, compostos orgânicos, compostos halogenados e compostos radioativos. Já os poluentes secundários são os produzidos na atmosfera, pelas reações entre dois ou mais poluentes. Exemplos: o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), proveniente das atividades industriais (combustão de óleos, operações de fusão, usinas de natureza tipicamente química) e dos veículos automotores, dá origem ao gás sulfúrico (H<sub>2</sub>S), pela ação do oxigênio natural do ar (catalisado pela energia solar) ou do ozônio (derivado do oxigênio natural por ocasião de descargas elétricas atmosféricas - raios). O SO<sub>3</sub>, por sua vez reage com o vapor d'água existente no ar formando uma neblina de ácido sulfúrico.

As fontes emissoras de poluentes são numerosas e variáveis, podendo ser antropogênicas ou naturais. As fontes antropogênicas são as que resultam das atividades humanas, como a atividade industrial ou o tráfego automotivo, enquanto que as fontes naturais englobam os fenômenos da natureza.

Para determinarmos a concentração de um poluente na atmosfera, medimos o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento do mesmo por suas fontes de emissão e suas interações atmosféricas, físicas (diluição) e químicas (reações químicas), como pode observar no esquema a seguir:



Com isso, podemos afirmar que mesmo mantidas as fontes de emissão, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, determinando uma maior ou menor diluição dos poluentes. Por isso, observamos que no inverno a qualidade do ar piora com relação aos parâmetros CO, material particulado (MP), e SO<sub>2</sub>, já que as condições meteorológicas, nesta estação, são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes (estabilidade atmosférica). A interação entre as condições atmosféricas e as fontes de poluição é que vai definir o nível de qualidade do ar, que por sua vez determina o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores.

A determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, definida em função de sua importância e dos recursos disponíveis. Com isso, neste trabalho, nos propomos a fazer uma análise levando em consideração o material particulado inalável.

Os poluentes atmosféricos conhecidos como “material particulado (MP)” não constituem uma espécie química definida, e sim um conjunto de partículas no estado sólido ou líquido com diâmetro menor que 100µm que incluem pós, poeiras, fumaças e aerossóis emitidos para atmosfera de diversas maneiras.

De acordo com a CETESB, os efeitos dessas partículas podem variar muito em função de sua natureza química e de suas dimensões. Partículas grossas (>10µm) são retidas nas vias superiores do aparelho respiratório enquanto que as partículas menores podem atingir os alvéolos pulmonares. Algumas podem ainda se acumular nos pulmões, ocasionando doenças pulmonares causadas pela inalação de poeiras (pneumoconiose).

A presença de material particulado na atmosfera urbana diminui a radiação solar, aumenta a concentração de núcleos de condensação, que intensificam as precipitações, provoca o “smog” fotoquímico, que reduz a visibilidade, além de provocar sujeira nas superfícies de casas e edifícios, móveis e objetos e, muitas vezes, sua corrosão.

O “smog” é uma mistura química de gases, que forma um denso nevoeiro. Os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), compostos voláteis orgânicos, dióxido de enxofre, aerossóis ácidos e gases, bem como o material particulado, formam parte desta névoa. Os gases provêm das indústrias, dos automóveis e inclusive das casas, devido aos processos de combustão. A reação destes compostos com a luz solar produz o chamado smog fotoquímico, cuja característica principal é a presença do ozônio no nível da terra, um composto que pode causar numerosos problemas de saúde. Substâncias tóxicas e cancerígenas podem ser absorvidas no material particulado, desencadeando ou agravando diversas patologias.

A presença no ar de algumas substâncias na forma de material particulado tende a agravar os efeitos de certos gases. O caso mais comum é o do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), cujo efeito nocivo é muito maior na presença de material particulado. Assim sendo, a CETESB e a FEAM estabeleceram índices padrões para a qualidade do ar, de acordo com a tabela 1 a seguir:

**Tabela 1**

Índices padrões para a qualidade do ar

ÍNDICE (mg/m <sup>3</sup> )	QUALIDADE DO AR
0 – 50	Boa
51 – 100	Regular
101 – 199	Inadequada
200 – 299	Má
300 – 399	Péssima
> 400	Crítica

Fonte: CETESB

### **CARACTERIZAÇÃO DE JUIZ DE FORA**

Conforme os dados da Estação Climatológica Principal (E.C.P.), o clima de Juiz de Fora apresenta duas estações bem definidas: uma que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas. De acordo com a classificação de W. Koeppen, a região possui um clima denominado de Cwb, ou seja, um clima mesotérmico com verões quentes e estação chuvosa também no verão.

Este clima pode também ser definido, genericamente, como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresentar altitudes médias entre 700 m e 900 m (IBGE 1976), que contribuem para a amenização das suas temperaturas.

Os índices pluviométricos anuais, também obtidos pela E.C.P. nas últimas décadas (1973 – 2005), acusaram médias próximas a 1.536 mm e maiores índices mensais no mês de janeiro, com cerca de 298 mm, enquanto que a média térmica anual oscila em torno de 18,9°C. O mês mais quente (fevereiro) possui média próxima a 21,7°C e o mês mais frio (julho), 16,1°C.

Uma das características do verão local, além dos elevados índices de calor e umidade, é a presença de chuvas do tipo convectivo, típicas de final de tarde e início da noite, essas chuvas se formam, quando há uma perturbação no equilíbrio entre as camadas de ar quente e úmido provocando uma ascensão brusca do ar local, formando nuvens com crescimento vertical e originando precipitações de grande intensidade e pequena duração, normalmente restrita às pequenas áreas, sendo popularmente chamadas de chuvas de verão.

Os dados históricos, obtidos em três décadas de observações da E.C.P. na UFJF (MG), indicam que as chuvas máximas podem ocorrer entre novembro e março, sendo que a máxima medida para 24 horas foi 147,4 mm (12/03/2001).

Com relação à distribuição dos deslocamentos de massa de ar, os dados mostram a presença marcante de ventos do quadrante norte. Esta característica, aliada à existência de uma depressão alongada ao longo do fundo de vale do rio Paraibuna, com direção aproximadamente coincidente, forma um corredor preferencial de deslocamento de massas de ar que se dirigem para o centro urbano da cidade, localizado ao sul dos distritos industriais.

Por outro lado, a existência de um relevo acidentado, cujos desníveis topográficos alcançam mais de 200 m, associada aos fatores antrópicos causados pela intensa urbanização, produziu, segundo MARTINS (1996) microclimas diferenciados dentro do próprio Perímetro Urbano. STAICO (1977) já salientava a existência de patamares distintos em relação à várzea do rio Paraibuna, a leste e a oeste, junto aos vales secundários dos córregos das Rosas e São Pedro, respectivamente, que por sua maior altitude e afastamento da concentrada urbanização da área central, tendem para um clima mesotérmico do tipo Cwb, com verões mais brandos.

Em geral as feições geomorfológicas tendem a uma convexidade das vertentes a partir do topo

(área de domínio morfoclimático de mar de morros caracterizado por AB'SABER, 1977), aliada à formação de grande número de anfiteatros e planícies intermontanas. O núcleo central da cidade aproveitando-se desta condição natural alojou-se na seção alargada do vale do rio Paraibuna, estrangulada por uma barra resistente, à jusante (PJF, 1996).

As alterações ambientais causadas por processos antrópicos tendem a produzir modificações em alguns elementos climáticos, originando fenômenos como o da "Ilha de Calor", responsáveis por temperaturas mais elevadas na área central da cidade, além de pluviosidades quantitativamente maiores nas áreas urbanizadas, como descritas por MARTINS (1996), as quais podem comprovar com a diferença entre os dados obtidos pela ECP e pela Estação Meteorológica Automática localizada no centro da cidade demonstrada na tabela 2.

**Tabela 2**

Diferença de Dados entre o Centro e a ECP

DATA	TEMP. MÁXIMA (°C)		TEMP. MÍNIMA (°C)	
	CENTRO	ECP	CENTRO	ECP
01/07/03	25,1	21,1	12,6	11,8
02/07/03	27,8	22,1	9,0	10,8
03/07/03	27,3	22,1	10,1	11,8
04/07/03	27,0	22,3	10,6	11,7
05/07/03	29,8	25,3	10,0	12,7
06/07/03	30,6	26,1	10,7	12,9
07/07/03	31,7	27,3	10,4	13,8
08/07/03	31,0	26,7	12,8	14,9
09/07/03	31,4	27,5	11,5	15,0
10/07/03	29,9	25,7	11,6	15,3

Fonte: LabCAA

A influência da urbanização no clima local se faz presente também em relação às zonas rurais, que segundo MACHADO (2000), apresenta parâmetros bem distintos de alguns elementos climáticos, especialmente a temperatura e a precipitação.

Vale ainda citar o trabalho de FERREIRA (1992) realizado no período de maio/1990 a março/1991, que instalou seis postos pluviométricos: um no centro da cidade e outros cinco localizados em diferentes pontos da área rural do município. Os resultados comprovaram, além do maior índice pluviométrico registrado na área central, um maior número de dias de chuva, também no centro urbano.

**Tabela 3**

Total de dias de chuva e total pluviométrico, no período de maio de 1990 a março de 1991

Postos Pluviométricos	nº de dias de chuva	Total pluviométrico
Torreões	88	1584,6
Valadares	87	1299,0
Juiz de Fora (centro)	159	1960,1
Caeté	74	1956,4
Dias Tavares	118	1499,0
Filgueiras	54	914,8

Fonte: FERREIRA, 1992.

## FATORES ANTRÓPICOS E METEOROLÓGICOS

Como já mencionado, a qualidade do ar da cidade não depende somente da quantidade de poluentes lançados pelas fontes emissoras, mas também da forma como a atmosfera age no sentido de concentrá-los ou dispersá-los. Por entender-se que o controle dos processos climáticos organiza-se dos níveis escalares superiores para os inferiores (MARTINS, 1996), assume-se que os fenômenos de dispersão e remoção dos poluentes sejam comandados pelas feições regionais da atmosfera (estado, velocidade e direção dos ventos e precipitação), pelos aspectos locais do clima urbano (ilhas de calor e circulação de ar) em consonância com as características da superfície urbana (topografia natural e edificada interferindo no campo de vento; ruas e prédios, usos do solo).

O crescimento de município de Juiz de Fora de forma acentuada e a evolução urbana da cidade, tem despertado estudos para as modificações na qualidade ambiental, dentre as quais as mudanças no clima local, mesoclimas, topoclimas e microclimas se insere na cidade. O grande aumento demográfico e a concentração das atividades comercial, financeira, institucional e industrial, além de outras, têm gerado uma valorização do espaço urbano, que contribui para o crescimento e o adensamento horizontal e vertical das áreas edificadas. A diversidade das funções leva à divisão da cidade em áreas residenciais, comerciais e industriais, dentre outras. Este fato causa deslocamentos diários, do tipo ida e volta da residência para o trabalho. Estes deslocamentos provocam consumo de energia e liberação de calor e poluentes para a atmosfera mais próxima - a atmosfera urbana - que envolve a cidade e espaços rurais a sotavento, gerando o clima urbano.

É acima da área urbana que ocorre a maior modificação do ar e do clima local, visto que se combinam as grandes alterações do uso do solo e da rugosidade urbanas, associadas à emissão de poluentes. Alguns poluentes, principalmente os nitratos, atuam como núcleos de condensação. A umidade aumenta devido à evaporação e aos processos industriais e veículos automotores, que emitem grandes quantidades de vapor d'água. Conseqüentemente a nebulosidade se eleva. Aumenta também a frequência e intensidade de nevoeiros, os quais, associados às partículas e à fumaça, reduzem a visibilidade na área urbana.

A abundância de núcleos de condensação provenientes da poluição e o acréscimo de vapor d'água influem também no aumento das precipitações sobre o espaço urbano ou em suas redondezas. Aumentam esta tendência, a convecção térmica provocada pela ilha de calor e a turbulência mecânica oriunda do atrito dos fluxos de ar com a rugosidade urbana.

De modo geral, os poluentes urbanos tendem a se concentrar na área central devido às células convectivas geradas pela ilha de calor. Um vento soprando em direção a uma área edificada pode agravar a situação da dispersão. Deparando-se com uma situação dessa, a barlavento dos edifícios, há uma formação de baixa pressão que acaba sugando os poluentes para essa depressão em forma de redemoinhos. Os redemoinhos ainda causam um agravante, eles elevam, e fazem ressurgir o material particulado do solo que se associa aos poluentes já suspensos.

A dispersão e a concentração na atmosfera de um poluente dependem em primeiro lugar, das condições meteorológicas e depois dos parâmetros e condições em que se produz essa emissão na fonte, ou seja, velocidade e temperatura dos gases, vazão, etc.

As condições meteorológicas, como já dito, são o fator fundamental na dispersão dos poluentes atmosféricos, podendo-se dizer que existem duas componentes principais:

- Componente vertical, comandada pela turbulência gerada pelo **gradiente vertical da temperatura ou Gradiente Térmico** entre as camadas da baixa atmosfera;
- Componente horizontal, em que o **vento** é o principal agente tanto no transporte como na mistura.

Segundo MARTINS (1996), a temperatura do ar normalmente decresce com a altitude aproximadamente 1°C/100m. Esta taxa de arrefecimento, devido apenas ao fato de uma massa

de ar seco em ascensão ser sujeita a pressões cada vez menores aumentando o seu volume e diminuindo a temperatura, denomina-se de Gradiente Adiabático.

O vento é o primeiro mecanismo atmosférico de transporte. Os ventos na Terra são resultados das diferenças de pressão devidas ao aquecimento ou resfriamento da atmosfera. Na escala local, áreas urbanas, industriais e rurais geram campos térmicos diferenciados que definem o comportamento atmosférico local, o mesmo é uma grandeza vetorial e como tal apresenta três componentes (x, y, z) sendo que a sua resultante determina a direção do vento em cada instante. A componente vertical do vento (z) é responsável pela turbulência enquanto que as outras componentes determinam essencialmente o transporte e a diluição do material particulado.

A velocidade do vento aumenta de acordo com a 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 condições de grande estabilidade da atmosfera, o transporte do material em altura pode ser feito a longas distâncias e levar as situações de concentrações de poluentes ao nível do solo em locais onde não há fontes poluidoras próximas, explicando, como será visto mais a frente, a maior concentração do material particulado na área central da cidade (Estação Manoel Honório) afetando mais este local do que as regiões adjacentes aos Distritos Industriais (DI I e II), como por exemplo, a região de Nova Era. Apesar, é claro, das emissões oriundas do tráfego de veículos no centro da cidade, serem grandes responsáveis também pela qualidade do ar local.

Os processos atmosféricos e a circulação, associados aos grandes centros de ação determinam e afetam o estado do tempo sobre o 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. Aos centros de baixa pressão, ou ciclones associam-se condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão dos poluentes.

Estas situações à escala sinótica, 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 poluição aguda.

Um fenômeno interessante na atmosfera é o da *inversão térmica*, ocasião em que a ação dos poluentes do ar pode ser bastante agravada. O referido fenômeno funciona assim: normalmente, o ar próximo à superfície do solo está em constante movimento vertical, devido ao processo convectivo (correntes de convecção). A radiação solar aquece a superfície do solo e este, por sua vez, aquece o ar que o circunda; este ar quente é menos denso que o ar frio, desse modo, o mesmo sobe (movimento vertical ascendente) e o ar frio, mais denso, desce (movimento vertical descendente). O ar frio no que toca a superfície do solo recebe calor do mesmo, esquenta, fica menos denso, então sobe, dando lugar a um novo movimento descendente de ar frio. E o ciclo se repete. O normal, portanto, é que se tenha ar quente numa camada próxima ao solo, ar frio numa camada logo acima desta e ar ainda mais frio em camadas mais altas, porém, em constantes trocas por correntes de convecção. Esta situação normal do ar colabora com a dispersão da poluição local.

Na inversão térmica, condições desfavoráveis podem, entretanto, provocar uma alteração na disposição das camadas na atmosfera. Geralmente no inverno, pode ocorrer um rápido resfriamento do solo ou um rápido aquecimento das camadas atmosféricas superiores. Quando isso ocorre, o ar quente fica por cima da camada de ar frio, passando a funcionar como um bloqueio, não permitindo os movimentos verticais de convecção: o ar frio próximo ao solo não sobe porque é o mais denso e o ar quente que lhe está por cima não desce, porque é o menos denso. Acontecendo isso, as fumaças e os gases produzidos pelas chaminés e pelos veículos não se dispersam pelas correntes verticais. A cidade fica envolta numa "neblina" e conseqüentemente a concentração de substâncias tóxicas aumenta muito. O fenômeno é comum no inverno de cidades como Nova Iorque, São Paulo e Tóquio, agravado pela elevada concentração de poluentes tóxicos diariamente despejados na atmosfera.

Em Juiz de Fora, apesar de ainda não mensurado, MARTINS (1996), constatou alguns indícios do fenômeno na cidade. A localização desta em um fundo de vale favorece a ocorrência da inversão térmica, sobre tudo no inverno, quando o aquecimento do solo pelos raios solares, nas primeiras horas se dá nas regiões mais altas, aquecendo-as mais rápido do que as regiões de menor altitude, formando camadas de ar superiores com temperatura mais elevadas do que as inferiores.

### **METODOLOGIA E RECURSOS TÉCNICOS**

Dimensionada para atender uma região comprometida com a poluição atmosférica de origem industrial e veicular, a Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar de Juiz de Fora, é constituída atualmente, por duas estações automáticas de medição do material particulado inalável, instaladas na região urbana do município, juntamente com postos de observações meteorológicas distribuídos pelo perímetro urbano.

As estações de medição da qualidade do ar são constituídas por *containers* climatizados onde estão instalados monitores capazes de realizar a amostragem e a análise da concentração do material coletado no ar de forma contínua e automática. Em uma delas existe uma estação meteorológica automática. Assim, o sistema permite além do acesso às informações em tempo real, o registro diário, semanal, mensal e anual dos dados de concentração de MP-10 e dos parâmetros meteorológicos devidamente processados em forma de gráficos e tabelas sendo os resultados transmitidos por rede telefônica à central de aquisição/processamento localizados no Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental.

O método empregado para medição da concentração de material particulado inalável (MP10) é o da Radiação Beta, através do Monitor Beta Modelo FH62C14 (Andersen Instruments Incorporated), que funciona em regime contínuo, fornecendo dados de concentração desse poluente a cada 30 minutos.

O Monitor Beta da Andersen é o mais avançado sistema para monitoramento automático, contínuo e preciso de partículas no ar ambiente. A fonte radioativa de Carbono-14 é contida numa cápsula de aço inox, na qual a energia beta torna possível a medição de grandes valores de massa de partículas no filtro. O sistema pode ser instalado sozinho ao ar livre, num gabinete fornecido, ou em ambiente interno. Sua insensibilidade às mudanças de temperatura, pressão e umidade é obtida graças ao singular princípio de dois feixes e dois detectores.

O mesmo é projetado para medir continuamente a concentração mássica das partículas em suspensão no ar ambiente. O monitor é constituído de três componentes principais: a unidade central, a bomba de vácuo e a cabeça (entrada) de separação. A unidade central contém o mecanismo do filtro, as câmaras de medição e de radiação, o display LCD, o teclado de controle e os circuitos eletrônicos.

A Estação de Manoel Honório está localizada no bairro do mesmo nome e instalada em terreno da Polícia Federal, ao lado da Avenida Brasil, próxima à confluência com a Avenida Barão Rio Branco. Essa região caracteriza-se pelo fluxo intenso de veículos leves e pesados. O início da coleta de dados se deu em abril de 2001.

A Estação Nova Era está instalada no bairro de mesmo nome, a noroeste da estação anterior, em área externa do prédio do Colégio Militar. Essa região é circundada pela Avenida JK e o acesso Norte, relativamente próxima a diversas unidades industriais dos DI I e II, além de concentrar fluxo intenso de veículos leves e pesados. A coleta de dados na Estação Nova Era teve início em setembro de 2001.

Os parâmetros meteorológicos que determinam as condições do tempo atmosférico são coletados por postos de observações de superfície, que possibilitam a análise da influência do relevo e das construções no escoamento superficial do vento (velocidade e direção), na temperatura urbana (ilha de calor), na distribuição espacial das chuvas e na formação de inversões térmicas. Ao mesmo tempo, permitem a comparação dos efeitos da urbanização no condicionamento da atmosfera em diferentes lugares.



### **1. Estação Climatológica Principal (ECP):**

Localizada no *campus* da UFJF, permite a coleta de dados de temperatura do ar, umidade do ar, direção e velocidade do vento e precipitação. A coleta é feita em horário padrão - às 09:00, 15:00 e 21:00 TMG por funcionários da UFJF e do Instituto Nacional de Meteorologia. A posição altimétrica da ECP, 940 metros, permite conhecer o sistema atmosférico atuante, determinado pelas massas de ar que atingem a região que, por sua vez, condicionam o comportamento do tempo atmosférico (quente, seco, úmido, direção predominante do vento, etc.).

### **2. Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Manoel Honório:**

Localizada no fundo do vale e junto à área urbana, conta com uma estação meteorológica automática com registro horário de temperatura, umidade do ar, direção e velocidade do vento e precipitação.

### **3. Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Nova Era:**

Localizada no fundo do vale a noroeste do centro urbano, conta com 01 pluviômetro, 01 conjunto psicrométrico para a coleta de temperatura e umidade do ar e 01 anemômetro (direção e velocidade do ar). As leituras são feitas às 09:00, 15:00 e 21:00 horas, conforme a ECP, por funcionários do Colégio Militar de Juiz de Fora (convênio UFJF/CMJF).

### **4. Posto de observação Stella:**

Instalado em área frontal do Colégio Stella Matutina, no centro da cidade, conta com 01 pluviômetro e 01 conjunto psicrométrico para a coleta de temperatura e umidade do ar. As medições são realizadas pelo LabCAA.

### **5. Posto de observação Três Moinhos:**

Instalado em área interna reservada da Escola Municipal, à nordeste do centro urbano, conta com 01 pluviômetro. Os registros são efetuados pelo LabCAA.

Os registros concomitantes dos postos de observações possibilitam a comparação da dinâmica dos fluxos de calor e ar e sua distribuição espacial.

No nível local e de superfície, a razoável rede de postos de observações e os resultados de todos os trabalhos de campo, possibilitam uma melhor resolução espacial dos controles climáticos de mesoescala (associados ao relevo e à rugosidade urbana) e de microescala (ligados às características de cobertura do solo).

Uma vez que a Estação Climatológica Principal (ECP), instalada no *campus* da UFJF, realiza apenas três coletas diárias dos elementos meteorológicos, torna-se impossível a comparação com os registros feitos na área urbana, realizados automaticamente em intervalos de 5, 15, 30 e 60 minutos. Assim é imperativa a aquisição e instalação de uma Estação Meteorológica Automática em substituição ao modelo convencional da ECP que é manual.

## **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Com a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar em conjunto com uma Estação Meteorológica Automática na área central próximo à calha do rio Paraibuna (Manoel Honório), e a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar de Nova Era, localizada a noroeste das primeiras, passou-se a ter uma melhor demonstração da circulação do ar na região. Conforme os primeiros registros predominam os ventos de direção noroeste assim como um maior percentual de calmaria.

Quanto à qualidade do ar, os dados, a princípio, parecem preocupantes, uma vez que se tem registrado altos níveis de concentração de partículas no ar, tendo em vista o tamanho da cidade, a densidade demográfica e volume da atividade industrial. Os gráficos, a seguir, mostram a situação na área central da cidade, em 7 de junho de 2001.

Os dados apresentados indicam, que a menor concentração de partículas coincide com os ventos

do quadrante sul e de baixa velocidade. Por outro lado, as maiores concentrações ocorrem à noite, com ventos do quadrante norte e ventos fracos (próximo à calmaria). Observa-se, também que os horários de pico no tráfego urbano, que podem chegar a valores entre 1048 e 1398 veículos/hora (Agência de Gestão de Transporte de Trânsito - GETTRAN), apresentam as maiores concentrações de partículas. Nesse dia, os ventos sopravam mais fortes à partir das 6h00, o que explicariam a menor quantidade de partículas em suspensão naquele período.

O gráfico a seguir mostra a concentração de partículas inaláveis nas duas estações de monitoramento da qualidade do ar em Juiz de Fora. A Estação Manoel Honório está localizada junto ao centro urbano, em área aberta, próximo à calha do rio Paraibuna. A segunda, Estação Nova Era, está instalada no bairro de mesmo nome, a noroeste, cerca de 12 km de distância da primeira. Trata-se de um bairro residencial, de baixa densidade populacional, com predomínio de edificações unifamiliares e pequeno comércio. Entretanto, duas grandes vias cortam a área além do vale do rio Paraibuna, ligando o centro ao extremo noroeste da área urbana e ao Distrito Industrial.

Conforme os resultados, obtidos no dia 25 setembro de 2001, os dados registrados na Estação Manoel Honório, no centro, indicavam uma maior concentração de partículas inaláveis. Segundo a normatização da CETESB/FEAM, a qualidade do ar nesse dia, às 19h00 era crítica. Quanto à média diária, a Estação Manoel Honório apresentou uma concentração de 79 microgramas, caracterizando a qualidade do ar como regular. A Estação Nova Era apresentou-se com qualidade do ar boa, com uma média de 29 microgramas de partículas por metro cúbico.

O período de menor concentração de partículas se deu no momento em que a velocidade do vento era maior e de direção norte. À noite, a velocidade do vento cai, e a direção é predominantemente noroeste, seguindo a orientação do vale do rio Paraibuna, aumentando consideravelmente a concentração de poluentes.

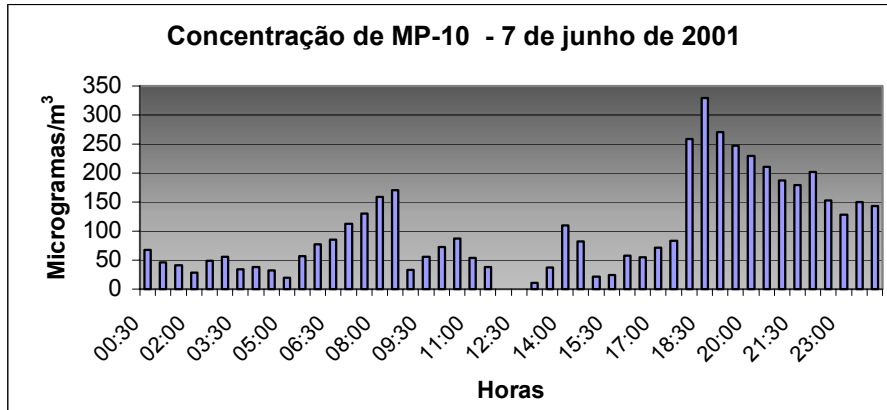
Com relação a influência dos ventos sobre a poluição atmosférica, além dos gráficos mostrados, foi analisada uma série temporal do material particulado, no inverno de 2001, durante o período de 26 de junho à 21 de setembro, tentando-se retratar assim parte do período mais crítico quanto à qualidade do ar.

A explicação para esta diferença de concentração do material particulado de acordo com a sazonalidade, é que ao contrário do verão, quando as condições atmosféricas são mais propícias para a dissipação e diluição dos poluentes graças a instabilidade atmosférica que prevalece neste período, no inverno a estabilidade atmosférica, com um volume menor de chuvas e pouca movimentação vertical e horizontal das camadas de ar, favorece a concentração dos poluentes já que dificultam a sua dissipação.

Nesta série foram definidos para cada dia a velocidade e a direção predominante dos ventos. Da mesma forma, foram calculadas as médias de concentração de material particulado para o mesmo período. Com isto foram analisadas as relações de concentração de material particulado com a direção e velocidade do vento, mostrando que há um aumento significativo na concentração do material poluente quando o mesmo é de baixa velocidade e do quadrante Norte, sobretudo de direção Noroeste, como podemos observar na tabela 4 e 5.

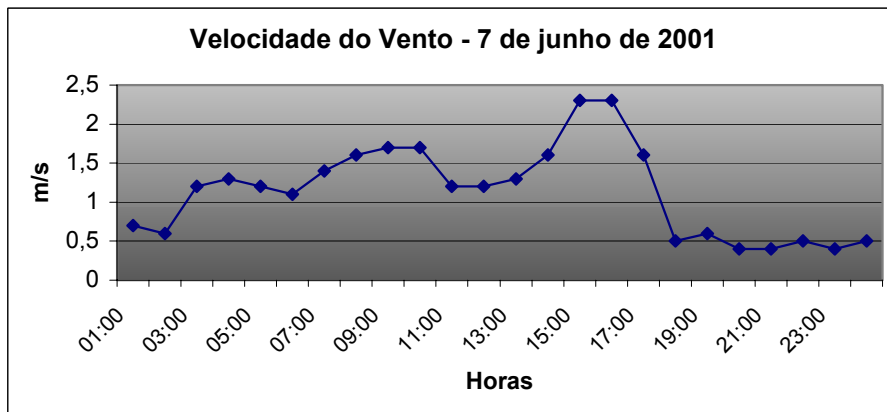
Na tabela 4 os dados foram divididos nos 89 dias da série com os respectivos valores médios de velocidade WS e direção WD dos ventos, bem como o de concentração do material particulado inalável MP-10. A partir dos dados da tabela 4, foi feita a tabela 5 classificando os mesmos de acordo com a ordem crescente de concentração de MP-10, concluindo que nos dias de maior concentração a direção do vento era predominantemente do quadrante Norte, com alguns casos, como no 28º dia, aonde a concentração, apesar de alta (98 mg/m<sup>3</sup>) a direção do vento era Sul, devido à passagem de uma frente fria. Nessa situação é comum a ocorrência de inversão térmica, freqüentemente observada nesta época do ano, elevando a concentração dos poluentes.

Gráfico 1



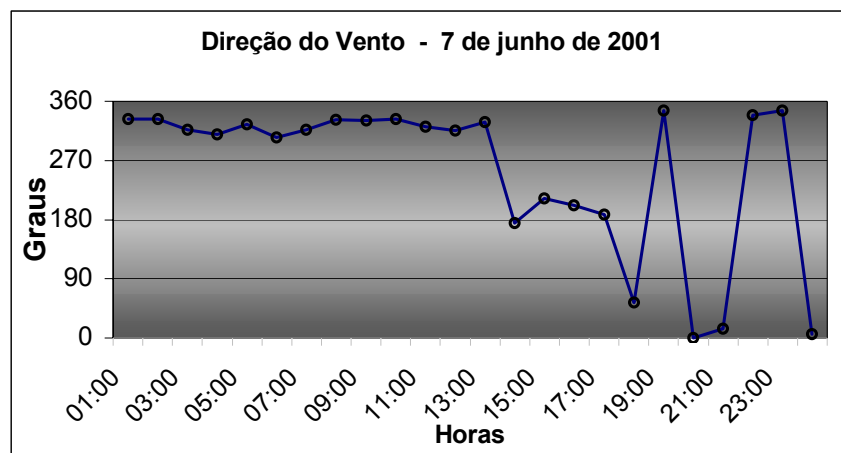
Fonte: LabCAA

Gráfico 2



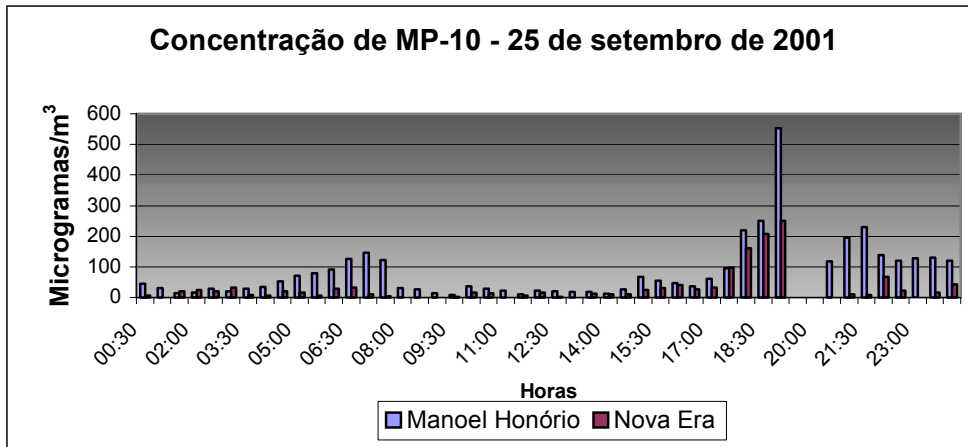
Fonte: LabCAA

Gráfico 3



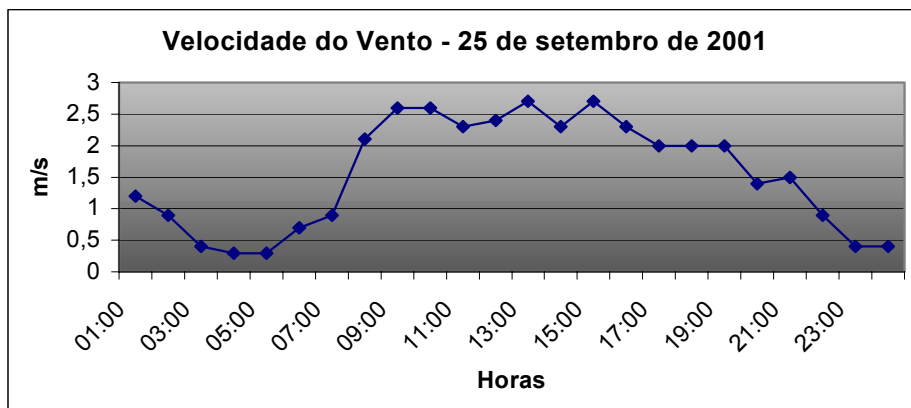
Fonte: LabCAA

Gráfico 4



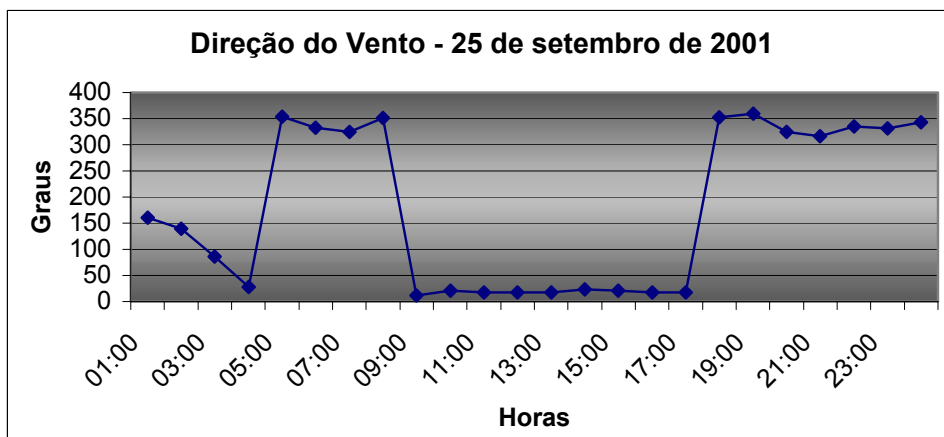
Fonte: LabCAA

Gráfico 5



Fonte: LabCAA

Gráfico 6



Fonte: LabCAA

**Tabela 4**

Velocidade e Direção do Vento e Concentração de MP - 10

DIAS	WS	WD	MP	DIAS	WS	WD	MP
1º	1,04	N	82	46º	1,01	W	79
2º	1,04	NW	57	47º	1,01	SE	44
3º	2,01	S	35	48º	1,01	SW	49
4º	1	NW	56	49º	1,01	E	27
5º	1,01	NW	62	50º	1	N	47
6º	1,01	NW	65	51º	1,01	N	44
7º	1,02	NW	76	52º	1,02	NE	30
8º	1,01	N	81	53º	1,01	NE	39
9º	1,02	N	92	54º	1,02	E	68
10º	1,02	NW	130	55º	1,02	E	24
11º	1,01	N	130	56º	1,01	N	62
12º	1	N	83	57º	1,01	N	65
13º	1,02	N	68	58º	1,03	NE	59
14º	1,01	NW	73	59º	1,02	N	59
15º	1,01	N	74	60º	1,03	N	48
16º	1,05	N	76	61º	1,01	N	62
17º	2	SW	53	62º	1,02	N	52
18º	2,04	SW	38	63º	1,02	N	85
19º	1,01	N	45	64º	1,01	NE	59
20º	1,02	N	49	65º	1,03	NE	34
21º	1,02	N	64	66º	1,02	N	55
22º	1,03	N	74	67º	1,03	N	51
23º	1,04	N	77	68º	1,01	N	58
24º	1,05	N	66	69º	1,03	N	46
25º	1,04	N	69	70º	1,04	N	59
26º	1,03	N	82	71º	1,02	N	80
27º	2,03	SW	51	72º	2,01	SW	77
28º	1,08	S	98	73º	2,05	S	51
29º	0,09	NE	44	74º	2,02	S	21
30º	1,02	N	44	75º	1,03	NW	48
31º	1,03	N	49	76º	1,04	W	54
32º	1,04	N	57	77º	1,02	NW	73
33º	3	SW	22	78º	2,07	SW	68
34º	1,09	S	20	79º	2,03	S	34
35º	0,09	E	26	80º	1,03	NE	42
36º	1	N	47	81º	1,03	N	60
37º	0,09	NW	81	82º	1,05	N	49
38º	1,01	N	83	83º	1,06	S	36
39º	0,09	NE	42	84º	3,05	SW	30
40º	1	N	60	85º	1,05	S	27
41º	1	NW	61	86º	1,05	E	21
42º	0,09	N	56	87º	1,02	E	15
43º	1,01	N	64	88º	1,02	E	30
44º	1,01	N	79	89º	1,02	E	15
45º	1,01	N	72				

Fonte: LabCAA

**Tabela 8**

Dados Agrupados em Ordem Crescente de Concentração de MP - 10

DIAS	WS	WD	MP	DIAS	WS	WD	MP
87°	1,02	E	15	32°	1,04	N	57
89°	1,02	E	15	68°	1,01	N	58
34°	1,09	S	20	58°	1,03	NE	59
74°	2,02	S	21	59°	1,02	N	59
86°	1,05	E	21	64°	1,01	NE	59
33°	3	SW	22	70°	1,04	N	59
55°	1,02	E	24	40°	1	N	60
35°	0,09	E	26	81°	1,03	N	60
49°	1,01	E	27	41°	1	NW	61
85°	1,05	S	27	5°	1,01	NW	62
52°	1,02	NE	30	56°	1,01	N	62
84°	3,05	SW	30	61°	1,01	N	62
88°	1,02	E	30	21°	1,02	N	64
65°	1,03	NE	34	43°	1,01	N	64
79°	2,03	S	34	6°	1,01	NW	65
3°	2,01	S	35	57°	1,01	N	65
83°	1,06	S	36	24°	1,05	N	66
18°	2,04	SW	38	13°	1,02	N	68
53°	1,01	NE	39	54°	1,02	E	68
39°	0,09	NE	42	78°	2,07	SW	68
80°	1,03	NE	42	25°	1,04	N	69
29°	0,09	NE	44	45°	1,01	N	72
30°	1,02	N	44	14°	1,01	NW	73
47°	1,01	SE	44	77°	1,02	NW	73
51°	1,01	N	44	15°	1,01	N	74
19°	1,01	N	45	22°	1,03	N	74
69°	1,03	N	46	7°	1,02	NW	76
36°	1	N	47	16°	1,05	N	76
50°	1	N	47	23°	1,04	N	77
60°	1,03	N	48	72°	2,01	SW	77
75°	1,03	NW	48	44°	1,01	N	79
20°	1,02	N	49	46°	1,01	W	79
31°	1,03	N	49	71°	1,02	N	80
48°	1,01	SW	49	8°	1,01	N	81
82°	1,05	N	49	37°	0,09	NW	81
27°	2,03	SW	51	1°	1,04	N	82
67°	1,03	N	51	26°	1,03	N	82
73°	2,05	S	51	12°	1	N	83
62°	1,02	N	52	38°	1,01	N	83
17°	2	SW	53	63°	1,02	N	85
76°	1,04	W	54	9°	1,02	N	92
66°	1,02	N	55	28°	1,08	S	98
4°	1	NW	56	10°	1,02	NW	130
42°	0,09	N	56	11°	1,01	N	130
2°	1,04	NW	57				

Fonte: LabCAA

## CONCLUSÕES

As conclusões a que se chegam com os estudos até agora realizados levam a determinação do fator que mais influencia a alta concentração de material particulado inalável na cidade que é o tráfego automotivo. Isso se evidencia pelos valores mais altos registrados na Estação Manoel Honório em relação à Estação Nova Era. Outro fator que poderia ser o grande responsável pela poluição, os Distritos Industriais, se assim o fosse, implicaria em um alto valor da concentração também em Nova Era, já que seguindo a orientação do vento predominante na cidade (N, NW), a mesma estaria mais próxima a barlavento dos DI's. Os horários de pico de poluição também são determinantes para esta conclusão, já que coincidem com o horário de maior circulação veicular.

Os dados apresentados também indicam que existe uma rigorosa relação entre a concentração de MP-10 com a velocidade do vento, concluindo que quanto menor for a mesma, maior é a concentração, mantidas as condições de direção do vento idênticas.

Os resultados de direção e velocidade do vento têm uma estreita relação. Pode-se observar que os ventos do quadrante Norte normalmente têm velocidade menor em comparação com os outros. Isto porque os ventos dos quadrantes Leste/Oeste sofrem grande influência do relevo local, que forma o vale do Rio Paraibuna com direção aproximadamente Norte/Sul. Por sua vez, os ventos do quadrante Sul normalmente se devem, em condições normais (MARTINS, 1996), às passagens de frentes frias, causando uma instabilidade atmosférica, ajudando na dispersão dos poluentes, já que sua velocidade em comparação com os do quadrante Norte é maior.

Com isto entende-se que a grande concentração urbana, o sítio, a localização industrial e seus atributos climatológicos, temperatura do ar e vento são os responsáveis pela configuração térmica e pela qualidade do ar em Juiz de Fora.

Contudo, algumas medidas poderiam ser tomadas por parte dos órgãos competentes para que, pelo menos, sejam amenizados os efeitos da poluição atmosférica na cidade. Estas medidas deveriam ser embasadas em uma rigorosa legislação que buscaria controlar os combustíveis e seu grau de pureza, vistoriar os veículos automotores para retirar de circulação os desregulados, além de exigir a instalação de filtros especiais nos escapamentos dos modelos mais antigos.

Outras medidas poderiam ser tomadas para se tentar diminuir o fluxo de veículos na cidade, como o incentivo à carona e melhoria no sistema de transporte coletivo.

Com relação ao transporte coletivo, uma alternativa que está para ser implantada é o Sistema Integrado de Transporte Troncalizado (SITT). O projeto prevê a construção de terminais de integração em regiões estratégicas, para receber as linhas dos bairros. A ligação entre as estações e o centro será feita através de uma linha troncal com ônibus articulados de grande capacidade. O sistema além de aperfeiçoar o transporte, diminuirá consideravelmente o fluxo de ônibus na região central da cidade, minimizando com isso, a emissão de poluentes.

Além desta medida, nas regiões de tráfego mais intenso, como a área central da cidade, poderia se criar rotas alternativas para que se tenha um "desafogamento" das principais vias.

Recentemente, em uma pesquisa encomendada pela Prefeitura de Volta Redonda - RJ, a implantação do anel viário, chamado de Rodovia do Contorno, que deslocará o tráfego pesado do centro para o entorno da cidade, foi constatado que a poluição atmosférica terá um decréscimo de 60%. No caso de Juiz de Fora, a Via São Pedro, segundo seus idealizadores, teria esta função, retirando os veículos que seguem da MG - 353 em direção à BR - 040 do centro da cidade.

Pelo exposto, é possível concluir que como a maior parte da população habita, ou pelo menos tende a habitar nas cidades, o clima urbano passa a merecer cada vez mais destaque. Trata-se de um excelente campo de pesquisa necessária não em si mesma, mas pelo fundamental subsídio que representa para o aprofundamento das análises, diagnósticos e monitoramento da qualidade ambiental.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Os Domínios Morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação **geomorfologia**. São Paulo: USP, Instituto de Geografia, 1977.
- ACKERMAN, B. Temporal march of the Chicago heat island. *Journal Climate and Applied Meteorology*. V. 4, n. 6, p. 547-554, 1985.
- ADEBAYO, Y. R. Aspects of the variation in some characteristics of radiation budget within the urban canopy of Ibadam. **Atmospheric Environment**. V. 24b, n. 1, p. 9-17, 1990.
- AMORIM, M. C. de C. T. O Clima Urbano de Presidente Prudente – SP. 374 p. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, 2000. Tese (Doutorado em Geografia)
- ASSIS, E. S. de. Mecanismos de Desenho Urbano Apropriados à Atenuação da Ilha de Calor Urbana: Análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. 164 p. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura)
- ASSIS, W. L. Análise do Campo Térmico e Hídrico em Belo Horizonte. 127 p. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. **Dissertação** (Mestrado em Geografia)
- BRANDÃO, A. M. de P. M. Tendências e Oscilações Climáticas na Área Metropolitana do Rio de Janeiro. FFCLH – Universidade de São Paulo, 1987, 196p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia – 2v)
- CABRAL, E. Análise das Alterações Climáticas da Cidade de São Paulo (1887-1995) no Contexto da Expansão de Sua Mancha Urbana. FFLCH – Universidade de São Paulo, 1997, 278p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia).
- CETESB. **Clima e Poluição do Ar no Estado de São Paulo**, 2001.
- CUADRAT, J. M., PITA, M. F. **Climatologia**. 2. ed. Madrid: Cátedra: 2000. 496p.
- DREW, D. **Processos Interativos Homem Meio Ambiente**. São Paulo: Difel, 1986
- FERREIRA, C.C.M. As Precipitações no Município de Juiz de Fora. Juiz de Fora: UFJF, Departamento de Geociências, 1992. **Monografia** (Bacharelado)
- HSU, S. I. Variation of Urban Heat Island in Phoenix. **The Professional Geographer**. New York, v.36, n. 2, p. 196 – 200, 1984.
- MACHADO, P.J.O. **Climatologia**. Juiz de Fora: UFJF, 2000. (Notas de aula)
- MARTINS, L. A. A Temperatura do Ar em Juiz de Fora – MG : Influência do Sítio e da Estrutura Urbana. – Departamento de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP – Rio Claro, 1996, 168p. **Dissertação** (Mestrado em Geografia)
- MOFFIT, B.J. The Effects of Urbanisation on Mean Temperatures at Kew Observatory. **Weather**. London, v. 27, n.3, p.121 – 129, 1972.
- OKE, T. R. Urban Climates and Global Environmental Change. In : THOMPSON, R. S. e PERRY, A. (orgs). *Applied Climatology: Principles and Practice*. London/New York: Routledge, 1997, p. 273-287.
- PJF. **Plano Diretor de Juiz de Fora**. Juiz de Fora: Concorde, 1996
- RIBEIRO, M.A. **Ecologizar** Belo Horizonte: Rona, 1998.
- STAICO, J. A **Bacia do Rio Paraibuna**. Juiz de Fora: UFJF, 1977
- TORRES, F.T.P. & MARTINS, L.A. A Influência de Fatores Antrópicos e Meteorológicos na Qualidade do Ar em Juiz de Fora – MG. In: III Congresso Interamericano de Qualidade do Ar –



Canoas - RS, **Anais...** Porto Alegre: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, cd-rom.

\_\_\_\_\_ Análise do Comportamento Médio da Concentração de Material Particulado Inalável em Função do Vento na Cidade de Juiz de Fora – MG. In: **Revista GEOUERJ**, Rio de Janeiro: Edição Especial, 2003.