

## REDES DE MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL, LEGISLAÇÃO E OS RISCOS À SAÚDE

### INHALABLE PARTICULATE MATTER NETWORK MONITORING, LAW AND HEALTH HAZARDS

**Rodrigo Marques**

Prof. Dr. Departamento de Geografia / UFMT  
[rodgmarques@gmail.com](mailto:rodgmarques@gmail.com)

**Emerson Soares dos Santos**

Doutorando em Geografia Física / FFLCH-USP  
[emer.santos@uol.com.br](mailto:emer.santos@uol.com.br)

#### RESUMO

Nos últimos anos têm aumentado o interesse nas pesquisas sobre as concentrações de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>), principalmente sobre sua fração fina (MP<sub>2,5</sub>). Isto ocorre devido ao fato de pesquisas recentes mostrarem que estas partículas podem causar vários danos à saúde humana, pois são inaladas e podem atingir os alvéolos pulmonares. Deste modo, o padrão nacional de qualidade do ar, que data de 1990, merece ser discutido e revisado, uma vez que isto já foi feito por outros países na Europa e nos Estados Unidos, bem como pela Organização Mundial de Saúde, que recomenda padrões bem mais restritivos que os adotados no Brasil.

**Palavras chave:** Material particulado inalável (MP<sub>10</sub>); fração fina (MP<sub>2,5</sub>); legislação brasileira.

#### ABSTRACT

Have increased interest in research on the inhalable particulate matter concentrations (PM<sub>10</sub>) in recent years, especially on their fine fraction (PM<sub>2.5</sub>). This is due to the fact that recent research shows that these particles can cause severe damage to human health because they are inhaled and can reach to pulmonary alveoli. Thus, the National Standard for Air Quality, that dates back to 1990 deserves to be discussed and reviewed, since this has been done by other countries in Europe and in the United States, as well as the World Health Organization, which recommends more restrictive standards than those adopted in Brazil.

**Keywords:** inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>), fine fraction (PM<sub>2.5</sub>), Brazilian law.

---

#### INTRODUÇÃO

Os aerossóis são minúsculas partículas líquidas ou sólidas dispersas na atmosfera cujos tamanhos variam de 0,001 a 100 micrometros ( $\mu\text{m}$ ). Suas partículas podem ter origem natural ou antropogênica quando emitidas diretamente da fonte (aerossóis primários), mas também podem ser formadas na atmosfera (aerossóis secundários) através dos processos de conversão gás-partícula (Seinfeld e Pandis 2006). Em relação ao tamanho da partícula, podemos classificá-las como ultrafinas ( $0,001 \mu\text{m} > < 0,01 \mu\text{m}$ ), núcleos Aitken ( $0,01 \mu\text{m} > e < 0,1 \mu\text{m}$ ), moda de acumulação ( $0,1 \mu\text{m} > e < 2 \mu\text{m}$ ), e os gerados mecanicamente ( $> 2 \mu\text{m}$ ), conforme Finlayson-Pitts & Pitts (2000). Assim, tem-se material particulado total em suspensão (PTS) cujas partículas possuem diâmetro aerodinâmico de até  $100 \mu\text{m}$ ; material particulado inalável (MP<sub>10</sub>) cujo diâmetro aerodinâmico não excede  $10 \mu\text{m}$ , sendo esta subdividida em fração fina do MP<sub>10</sub>, com tamanho de até  $2,5 \mu\text{m}$  (também conhecida como MP<sub>2,5</sub>) e fração grossa do MP<sub>10</sub>, com partículas de tamanho entre  $2,5$  e  $10 \mu\text{m}$  (ou MP<sub>2,5-10</sub>).

---

Recebido em: 13/11/2011

Aceito para publicação em: 22/12/2011

O  $MP_{10}$  tem sido mais estudado devido ser inalável, e sua fração de  $MP_{2,5}$  atinge as vias respiratórias inferiores, o que pode causar vários danos à saúde. Relatório do WHO/Europe (2006) afirma que a maior da parte da população europeia tem sua saúde afetada pela poluição do ar com material particulado, especialmente pela fração fina ( $MP_{2,5}$ ).

Tendo em vista os impactos que o material particulado inalável pode causar a saúde, este trabalho vem discutir as redes de monitoramento e os padrões nacionais para este poluente (Resolução CONAMA nº 003/1990), comparando-os com os padrões estabelecidos pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos da América (EPA) e Comissão Europeia do Meio Ambiente (ECE), e os recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

### **PADRÃO NACIONAL, REDES DE MONITORAMENTO E OS PADRÕES INTERNACIONAIS PARA MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL**

O Brasil tem seus atuais padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 003/1990, possuindo padrões apenas para  $MP_{10}$ . Esta resolução revogou a primeira medida do governo brasileiro para tentar controlar a poluição atmosférica, que foi a Portaria do Ministério do Interior nº 231/1976, que estabelecia padrões de qualidade do ar. Nesta portaria, o material particulado inalável ainda não era tratado separadamente, pois havia apenas o padrão para Particulado em Suspensão, com média anual geométrica de  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ , sendo que a concentração não poderia exceder  $240 \mu\text{g m}^{-3}$  uma vez no ano. Além disto, houve a Resolução CONAMA nº 005/1989 que instituiu o Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR que previa em seu artigo 1º a limitação nos níveis de emissão, melhoria na qualidade do ar e a garantia da manutenção da qualidade do ar em áreas não degradadas.

A Resolução CONAMA nº 003/1990 que estabeleceu os padrões de qualidade do ar, foi uma consequência do PRONAR, estando ainda em vigor. Entretanto já se passam duas décadas sem que esta norma seja revista e atualizada, mesmo que vários estudos recentes tenham apontado a influência da concentração de particulado inalável na saúde da população (Poursafa *et al.* 2011; Marcilio e Gouveia, 2007; Mar *et al.*, 2000). Padrões mais rigorosos têm sido adotados por países como os Estados Unidos e pelos membros da União Europeia, bem como já foram recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em sua publicação “*WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*” no ano de 2006.

Estes padrões adotados e recomendados recentemente pela OMS (2006), Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos da América (EPA, 2010) e Comissão Europeia de Meio Ambiente (UE, 2008) apontam para uma maior preocupação com o  $MP_{2,5}$ , sendo este padrão inexistente no Brasil. Entretanto, uma quantidade relevante de pesquisas vem sendo feitas no Brasil há várias décadas (Artaxo *et al.*, 1993; Andrade *et al.*, 1994; Maenhaut *et al.*, 2002; Dallarosa *et al.*, 2008; Marques, 2011; Miranda *et al.*, 2010; Andrade *et al.*, 2010;) sendo necessário uma discussão sobre os padrões brasileiros.

A Resolução do CONAMA nº 03 de 28/06/90 estabelece as concentrações máximas ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $MP_{10}$  em 24 horas para que ocorram avisos à população, sendo:  $250 \mu\text{g m}^{-3}$  para atenção,  $420 \mu\text{g m}^{-3}$  para alerta e  $500 \mu\text{g m}^{-3}$  para emergência. Entretanto, a mesma resolução prevê que cabe aos estados da federação o monitoramento da qualidade do ar.

No contexto das redes de monitoramento no Brasil, há algumas redes com estações automáticas e manuais que monitoram os poluentes estabelecidos pela resolução CONAMA 03/1990. Estados como São Paulo (rede de estações operada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, <http://www.cetesb.sp.gov.br>), Minas Gerais (Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, <http://www.feam.br>), Rio de Janeiro (Instituto Estadual do Ambiente – INEA, <http://www.inea.rj.gov.br/fma/qualidade-ar.asp>), Espírito Santo (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>), Paraná (Instituto Ambiental do Paraná – IAP, <http://www.iap.pr.gov.br>), Rio Grande do Sul (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, <http://www.fepam.rs.gov.br>), além do Distrito Federal (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental – IBRAM, <http://www.ibram.df.gov.br>) realizam o monitoramento sistemático.

Todas estas entidades publicam anualmente um relatório de qualidade do ar, enquanto que a FEPAM disponibiliza diariamente boletins com dados obtidos na sua rede de estações tanto a automática quanto a manual. No Estado de Goiás, existem medições de particulado total em

suspensão entre 2006 e 2008 (três estações em Goiânia e uma na cidade de Anápolis), sendo interrompido e retomado em 2011 com amostragem na Praça Cívica e na Praça do Trabalhador em Goiânia. Estas amostragens são de responsabilidade da Gerência de Monitoramento Ambiental, vinculada a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos ([www.semarh.goias.gov.br](http://www.semarh.goias.gov.br)), entretanto, estes relatórios ainda não se encontram disponíveis na página eletrônica desta secretaria. Também existe uma rede de monitoramento na Bahia, na Região Metropolitana de Salvador (cinco estações) e no Pólo Industrial de Camaçari (10 estações), operados pela Empresa de Proteção Ambiental - Cetrel S.A, cujos dados estão disponíveis on-line (<http://www.cetrel.com.br>), não sendo encontrados os relatórios anuais de qualidade do ar disponíveis neste endereço eletrônico.

No estado de Mato Grosso também existem boletins diários de qualidade do ar emitidos pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente - SEMA (disponível para visualização no site <http://www.sema.mt.gov.br>), entretanto o estado não possui uma rede de monitoramento, sendo os boletins baseados em informações obtidas pelo modelo CATT – BRAMS (CPTEC/INPE) que estima concentrações de  $MP_{2,5}$  a uma altura de 74 metros do nível do solo. Estas informações servem como auxílio nas ações de prevenção da Coordenadoria de Vigilância em Saúde Ambiental na Secretaria de Estado de Saúde – SES (sendo disponível para visualização no site <http://www.saude.mt.gov.br>).

Para comparação, é apresentado na Tabela 1 os padrões de qualidade para  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  adotados pelo Brasil através da resolução CONAMA 03/1990, os recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos da América (EPA), e Comissão Européia do Meio Ambiente (ECE). Percebe-se que a legislação brasileira apresenta o padrão somente para o  $MP_{10}$ , e mesmo assim a média anual para o padrão estabelecido é a que apresenta menos restrição, com  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , enquanto a OMS recomenda  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ , e a ECE tem como padrão  $40 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Tabela 1 - Comparação entre os padrões diários e anuais de  $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$  adotados pelo Brasil (CONAMA), Estados Unidos (EPA), União Européia (ECE) e os recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS)

Padrão	Concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	
	$MP_{2,5}$	$MP_{10}$
OMS - 24 hs	25	50
OMS – anual	10	20
CONAMA – 24 hs	-	150 <sup>(1)</sup>
CONAMA – anual	-	50
EPA – 24 hs	35	-
EPA – anual	15	150 <sup>(1)</sup>
ECE – 24 h	-	50 <sup>(2)</sup>
ECE – anual	25	40

<sup>(1)</sup> – Não pode ser excedido mais que uma vez ao ano.

<sup>(2)</sup> – Não pode ser excedido mais que 35 vezes ao ano.

Embora a EPA não tenha como padrão uma média anual, sua concentração não pode ultrapassar  $150 \mu\text{g m}^{-3}$  mais do que uma vez ao ano para  $MP_{10}$ , além de apresentar padrões para o  $MP_{2,5}$ . Assim é relevante uma reflexão dos motivos pelos quais o Brasil ainda não tenha adotado padrões de referência para o  $MP_{2,5}$ , uma vez que estas outras importantes instituições já tem adotado e buscado medidas para o cumprimento destes padrões mais restritivos. Mas, em se tratando de um país que sequer foi capaz de instalar uma rede nacional de monitoramento da qualidade do ar conforme o descrito no item 2.4 da resolução CONAMA 05/1989 que criou o PRONAR, fica a indagação sobre a vontade e o comprometimento da classe política, uma vez que a resolução CONAMA 03/1990 repassou para as unidades da federação a obrigação de implantar as redes de monitoramento.

## CONCENTRAÇÕES DE MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL NO BRASIL

A maioria das pesquisas sobre material particulado inalável no Brasil são restritas a curtos períodos de amostragem, não havendo uma rede nacional de monitoramento contínua. Das redes existentes, destacam-se os trabalhos realizados nas regiões metropolitanas de Belo Horizonte (RMBH), Curitiba (RMCT), Porto Alegre (RMPA), Salvador (RMSA), Rio de Janeiro (RMRJ), São Paulo (RMSP) e Vitória (RMGV). Assim é possível observar o número de estações existentes, as concentrações máximas obtidas, as médias anuais e quantas vezes o padrão nacional foi ultrapassado, dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em sua página eletrônica ([http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista\\_tema.aspx?op=0&no=16&sv=86](http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=16&sv=86)), até o ano de 2010.

Na Tabela 2 se observa que a maioria das estações que monitoram MP<sub>10</sub> se localiza na Região Metropolitana (RM) de São Paulo (RMSP) e no Rio de Janeiro (RMRJ), seguido pela Grande Vitória (RMGV) e Belo Horizonte (RMBH). Regiões Metropolitanas como Recife (RMRE) e Goiânia (RMGO), além do Distrito Federal, monitoram somente o PTS e por isso não constam nas tabelas abaixo. Exceto na RM de Porto Alegre (RMPA) onde houve uma diminuição considerável no número de estações em operação (de oito em 2005 para duas em 2007), há uma tendência de ampliação ou manutenção no número de estações nas outras RM's.

Considerando as médias anuais de MP<sub>10</sub>, a Tabela 3 mostra que com exceção da RMRJ as demais RM's têm atendido a legislação, com médias anuais inferiores a 50 µg m<sup>-3</sup>. Entretanto, há ultrapassagens do padrão primário para média de 24 horas para todas as RM's, com exceção da RMGV que ainda não registrou concentração superior a 150 µg m<sup>-3</sup>, conforme a Tabela 4. A RMRJ ultrapassou 400 µg m<sup>-3</sup> em 2001 e 500 µg m<sup>-3</sup> em 2010, enquanto que na RMSP desde o ano de 2000 não se verificaram concentrações superiores a 230 µg m<sup>-3</sup>. Na RMCT em 2007 e 2008 se verificaram máximas de 355 e 420 µg m<sup>-3</sup> respectivamente. Na Tabela 5 onde se observa o número de vezes que o padrão primário foi ultrapassado, verifica-se que comparado a década de 1990 tem ocorrido um declínio nas violações, exceto a RMCT onde houve um aumento em 2007 e 2008, e na RMRJ onde o número de ultrapassagens do padrão primário foi o maior desde 2003, com 20 ultrapassagens.

Tabela 2 – Número de estações de monitoramento de MP<sub>10</sub> na rede de estações das regiões metropolitanas informadas pelo IBGE entre 1995 e 2010

	Salvador - BA	Belo Horizonte - MG	Rio de Janeiro - RJ	São Paulo - SP	Curitiba - PR	Porto Alegre - RS	Grande Vitória - ES
1995	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	3	-	-	-	-	-
1997	-	2	-	22	-	-	-
1998	-	3	-	22	-	-	-
1999	-	3	17	23	-	-	-
2000	-	3	18	23	-	-	-
2001	-	3	19	20	-	-	7
2002	-	3	18	20	1	5	7
2003	2	6	20	22	3	5	7
2004	3	6	14	22	5	6	7
2005	5	9	18	22	4	8	8
2006	5	9	16	20	5	6	8
2007	5	8	17	22	6	2	8
2008	5	8	16	21	5	2	8
2009	5	8	18	21	-	-	8
2010	5	-	17	-	-	-	8

Fonte: Responsáveis pelo repasse dos dados - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM; Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná - IAP; Porto Alegre: Ar do Sul- Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar - FEPAM; Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA; Salvador (Camaçari): Empresa de Proteção Ambiental - CETREL S.A.; São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB; e Vitória: Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória - RAMQAr/ IEMA e SEMMAM.

Tabela 3 - Concentrações médias anuais de MP<sub>10</sub> na rede de estações das regiões metropolitanas (IBGE) entre 1995 e 2010

	Salvador - BA	Belo Horizonte - MG	Rio de Janeiro - RJ	São Paulo - SP	Curitiba - PR	Porto Alegre - RS	Grande Vitória - ES
1995	-	-	-	81	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	62	-	-	-
1998	-	25	101	53	-	-	-
1999	-	27	82	48	-	-	-
2000	-	35	74	52	-	-	-
2001	-	36	75	51	-	-	26
2002	-	31	72	50	-	28	27
2003	-	30	63	46	-	30	29
2004	20	17	57	40	28	30	28
2005	21	22	54	37	30	32	27
2006	16	30	64	37	32	-	29
2007	16	29	61	41	38	-	29
2008	17	30	50	39	-	-	33
2009	16	20	49	34	-	-	29
2010	17	-	67	-	-	-	30

**Fonte:** Responsáveis pelo repasse dos dados - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM; Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná - IAP; Porto Alegre: Ar do Sul- Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar - FEPAM; Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA; Salvador (Camaçari): Empresa de Proteção Ambiental - CETREL S.A.; São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB; e Vitória: Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória - RAMQAr/ IEMA e SEMMAM.

Tabela 4- Concentrações máximas de MP<sub>10</sub> na rede de estações das regiões metropolitanas (IBGE) entre 1995 e 2010

	Salvador - BA	Belo Horizonte - MG	Rio de Janeiro - RJ	São Paulo - SP	Curitiba - PR	Porto Alegre - RS	Grande Vitória - ES
1995	-	229	-	-	-	-	-
1996	-	276	-	-	-	-	-
1997	-	186	-	260	-	-	-
1998	-	211	-	177	-	-	-
1999	-	252	310	270	-	-	-
2000	-	195	294	223	-	-	-
2001	-	149	434	229	-	-	88
2002	-	133	288	231	79	182	106
2003	105	153	281	187	210	172	100
2004	187	137	261	173	231	183	114
2005	97	192	151	160	158	187	102
2006	68	163	251	157	203	252	98
2007	126	168	195	223	355	155	67
2008	90	194	157	161	420	178	109
2009	132	83	195	187	-	-	91
2010	147	-	574	-	-	-	116

**Fonte:** Responsáveis pelo repasse dos dados - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM; Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná - IAP; Porto Alegre: Ar do Sul- Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar - FEPAM; Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA; Salvador (Camaçari): Empresa de Proteção Ambiental - CETREL S.A.; São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB; e Vitória: Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória - RAMQAr/ IEMA e SEMMAM.

Tabela 5 - Violações do padrão primário de MP<sub>10</sub> na rede de estações das regiões metropolitanas (IBGE) entre 1995 e 2010

	Salvador - BA	Belo Horizonte - MG	Rio de Janeiro - RJ	São Paulo - SP	Curitiba - PR	Porto Alegre - RS	Grande Vitória - ES
1995	-	7	-	-	-	-	-
1996	-	10	-	-	-	-	-
1997	-	11	-	162	-	-	-
1998	-	7	-	26	-	-	-
1999	-	10	59	61	-	-	-
2000	-	4	64	38	-	-	-
2001	-	0	33	42	-	-	0
2002	-	0	43	23	0	1	0
2003	-	1	19	28	6	2	0
2004	1	-	11	7	11	3	0
2005	0	1	1	1	4	4	0
2006	0	2	15	2	9	4	0
2007	0	0	11	4	19	1	0
2008	0	4	2	2	24	2	0
2009	1	0	9	1	-	-	0
2010	0	-	20	-	-	-	0

**Fonte:** Responsáveis pelo repasse dos dados - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM; Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná - IAP; Porto Alegre: Ar do Sul- Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar - FEPAM; Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Meio Ambiente - INEA; Salvador (Camaçari): Empresa de Proteção Ambiental - CETREL S.A.; São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB; e Vitória: Rede Automática de Monitoramento de Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória - RAMQAr/ IEMA e SEMMAM.

Para as concentrações de MP<sub>10</sub> medidas na Região Metropolitana de Belo Horizonte pela FEAM em 2010, embora não informado pelo IBGE, mas que consta nos Relatórios de Qualidade do Ar da FEAM (2011), verificou-se uma única ultrapassagem do padrão anual de 150 µg m<sup>-3</sup>, o que é permitido pela atual legislação, sendo 157,8 µg m<sup>-3</sup> na estação Aeroporto Carlos Prates em Belo Horizonte, e 155,7 µg m<sup>-3</sup> na estação Centro Administrativo de Betim. Embora as médias anuais tenham sido menores que 50 µg m<sup>-3</sup> nas estações que tiveram séries representativas, estações como a Centro Administrativo/Betim em 2008 apresentou média anual em torno de 55 µg m<sup>-3</sup> e em 2010 foi de 60 µg m<sup>-3</sup> (sendo que neste último ano, quase metade dos dias houve ultrapassagem do padrão de 50 µg m<sup>-3</sup>). Em Juiz de Fora, Torres e Martins (2005) constataram média diária entre 15 e 130 µg m<sup>-3</sup> para MP<sub>10</sub>, entretanto mais da metade dos 89 dias amostrados apresentaram concentrações superiores a 50 µg m<sup>-3</sup>, o que não é permitido pela Resolução CONAMA 003/1990.

O monitoramento realizado pela CETESB (2011) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) em 2010 (também não informado pelo IBGE) constatou que em apenas seis dias se ultrapassou o padrão de qualidade diário de 150 µg m<sup>-3</sup>, sendo três na estação Mauá (máxima de 173 µg m<sup>-3</sup>), uma na Ibirapuera (166 µg m<sup>-3</sup>), uma em Parelheiros (155 µg m<sup>-3</sup>) e uma em Santo André – Paço Municipal (153 µg m<sup>-3</sup>). Considerando a evolução da qualidade do ar aferida pela CETESB para material particulado inalável na RMSP verifica-se que em 2001 58,6% dos dias apresentavam uma qualidade do ar considerada Boa (concentrações inferiores a 50 µg m<sup>-3</sup>), sendo que este percentual aumentou gradativamente, chegando a 88% em 2009 e 78% em 2010. Considerando os números de dias com qualidade do ar Regular (concentrações entre 51 e 100 µg m<sup>-3</sup>) houve uma queda, sendo que em 2001 representavam aproximadamente 41% dos dias, 12% em 2009 e 22% em 2010. Por fim, o número de dias com qualidade Inadequada (concentrações entre 101 e 200 µg m<sup>-3</sup>) caiu de 0,64% em 2001, para 0,02% em 2009 e 0,11% em 2010. Esta diferença entre os anos de 2009 e 2010 se deveu ao fato de que em 2009 ocorreram mais condições meteorológicas favoráveis à dispersão de poluentes durante o inverno do que em 2010. Esta melhora no aumento do número de dias com concentrações inferiores a 50 µg m<sup>-3</sup> na RMSP na última década é resultado dos programas de controle de emissão adotados pela CETESB.

As estações da CETESB (2011) localizadas em Cubatão apresentaram maiores concentrações em 2010, em função do pólo industrial. Considerando o padrão diário de 150 µg m<sup>-3</sup>, na

estação Cubatão – Vale do Mogi ele foi ultrapassado 12 vezes (máxima de  $330 \mu\text{g m}^{-3}$ ), atingindo o nível de Atenção uma vez (isto ocorre quando ultrapassa a concentração de  $250 \mu\text{g m}^{-3}$  em 24 horas). Na estação Cubatão – Vila Parisi este padrão foi ultrapassado 24 vezes em 2010 (máxima de  $328 \mu\text{g m}^{-3}$ ), sendo que por 4 vezes atingiu o nível de Atenção. Em 2003 e 2007, 17% dos dias apresentaram qualidade do ar Inadequada, enquanto que em 2001 e 2010 apresentaram 80 e 76% dos dias com qualidade regular respectivamente. Também se registrou qualidade do ar Má (concentrações entre 201 e  $300 \mu\text{g m}^{-3}$ ), sendo que em 2008 e 2010 atingiram 1,1% do número de dias. A estação de Cubatão – Vila Parisi apresentou médias anuais superiores ao padrão nacional ( $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ) entre 2001 e 2010, enquanto que na estação Cubatão – Centro as médias anuais foram inferiores todos os anos. A estação Cubatão – Vila Mogi cujas médias anuais foram obtidas a partir de 2009, em 2010 já apresentava média anual superior ao padrão nacional.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), o monitoramento realizado pelo INEA (2009) em 2008 indicou que na cidade de Duque de Caxias o padrão diário foi ultrapassado 4 vezes na estação São Bento e 2 vezes na estação Cidade dos Meninos, com máximas em torno de  $200 \mu\text{g m}^{-3}$ , sendo que nesta última, a média anual também ficou um pouco acima do padrão, sendo a média de  $55 \mu\text{g m}^{-3}$ . Também se verificou que as cidades de Niterói, Nova Iguaçu, São João de Meriti, e no bairro de Bonsucesso (município do Rio de Janeiro) foram ultrapassados o estabelecido pela resolução para concentração máxima em 24 horas ( $150 \mu\text{g m}^{-3}$ ), sendo que mais de 50% dos locais monitorados ultrapassam o limite para o padrão anual ( $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ), sobretudo ao norte e a leste da RMRJ. Considerando ainda este estudo, verificou-se que de maneira geral há uma diminuição nas concentrações de  $\text{MP}_{10}$  nesta última década, e os resultados tem caminhado a estabilizar próximo ao estabelecido coo padrão anual.

Na Região Metropolitana de Curitiba em 2009, apenas na estação Colombo houve três violações do padrão primário de  $150 \mu\text{g m}^{-3}$  (IAP, 2010), com máxima de  $203 \mu\text{g m}^{-3}$  registrada em 13/08/2009. A inserção da Estação Colombo em 2006 na rede de monitoramento da RMCT foi importante por se tratar de uma área com características industriais e também de centro, onde as emissões industriais e de tráfego podem colaborar para que os padrões de qualidade do ar sejam ultrapassados em determinados períodos. Além disto, na RMCT, os meses de abril a setembro apresentaram condições desfavoráveis a dispersão dos poluentes superior a 50% (IAP, 2010), sendo que neste período tem-se a ocorrência mais frequente das inversões térmicas devido ao inverno, além da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sistema com forte subsidência que inibe a formação de nuvens. Em maio de 2011 foi apresentado o Plano de Controle de Poluição Veicular no Estado do Paraná, com vistas a reduzir os níveis de emissão de veículos automotores, tendo por parâmetro os padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA nº 3 de 1990 (Paraná, 2011).

Na Região Metropolitana da Grande Vitória, o último relatório do ar disponível é referente ao ano de 2007 (IEMA, 2008), entretanto as amostragens correspondem a no máximo 33% dos registros válidos, não sendo representativo para a determinação da qualidade do ar. Das oito estações que operaram, apenas a Estação Enseada do Suá apresentou série de dados até junho de 2007, sendo que as demais ficaram restritas até abril/2007, com o restante do ano sem dados. Embora não haja relatórios anuais sobre os dados da Região Metropolitana de Porto Alegre, algumas séries podem ser encontrados em Dallarosa et. al (2008), onde se verificou que não houve ultrapassagem do padrão de 24 horas ( $150 \mu\text{g m}^{-3}$ ) bem como as médias anuais ficaram abaixo de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , sendo satisfatório para o cumprimento da Resolução CONAMA nº 3/1990 durante o ano de 2002.

A rede de monitoramento de Goiânia (duas estações) realiza medições de PTS (e não de  $\text{MP}_{10}$ ), e como estas foram realizadas somente durante o período de estação seca em 2008, apresentaram média geométrica superior a  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ , sendo  $122 \mu\text{g m}^{-3}$  na estação Praça do Trabalhador (máxima em 24 horas de  $223 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e  $173 \mu\text{g m}^{-3}$  na estação Terminal Isidória (máxima em 24 horas de  $230 \mu\text{g m}^{-3}$ ), conforme dados da SEMARH-GO (2008). No Distrito Federal, todas as cinco estações ultrapassaram a média geométrica anual de  $80 \mu\text{g m}^{-3}$ , onde a estação Centro de Ensino Queima Lençol apresentou média geométrica de  $446 \mu\text{g m}^{-3}$  (máxima em 24 horas de  $1076 \mu\text{g m}^{-3}$ ), e a estação Fercal II  $622 \mu\text{g m}^{-3}$  (máxima em 24 horas de  $1209 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Estes resultados indicam a necessidade da medição de  $\text{MP}_{10}$ , uma vez que ele é constituinte do PTS, e as concentrações encontradas foram muito elevadas, tendo ultrapassado os episódios agudos de Emergência (concentração em 24 horas de  $875 \mu\text{g m}^{-3}$  de PTS) previsto na Resolução CONAMA nº 3/1990 (IBRAM, 2008).

É importante mencionar que muitas pesquisas foram realizadas para a medição das concentrações de  $MP_{10}$ , todas com períodos curtos de amostragem e desenvolvidos quase que na sua maioria por iniciativas individuais ou de grupos de pesquisa. Na Região Metropolitana de São Paulo temos o trabalho de Sánchez-Ccoyllo e Andrade (2002) que identificaram como fontes de emissão o tráfego veicular, a incineração e lixo, a vegetação, a ressuspensão do solo e a queima de óleo combustível, sendo que a concentração média para  $MP_{2,5}$  foi de  $30\mu\text{g m}^{-3}$ . Miranda *et al.* (2010) e Andrade *et al.* (2010) avaliaram a concentração do particulado fino em São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, obtendo concentrações médias no inverno que chegaram a  $35\mu\text{g m}^{-3}$  em São Paulo e  $23\mu\text{g m}^{-3}$  no Rio de Janeiro, enquanto que em Belo Horizonte estas concentrações foram inferiores a  $20\mu\text{g m}^{-3}$ .

Na Amazônia Central, Pauliquevis *et al.* (2007) estudaram a composição dos aerossóis tendo medido concentrações diárias que não ultrapassaram  $20\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$  e  $70\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{10}$ . Artaxo *et al.* (1993) comparou medições realizadas entre a Serra do Navio (AP) e Cuiabá entre 1990 e 1992, sendo encontrado em Cuiabá concentrações superiores a  $150\mu\text{g m}^{-3}$  durante o período de queima de biomassa. Artaxo *et al.* (2005) verificou as concentrações de  $PM_{10}$  em Alta Floresta-MT entre 1992 e 2002, sendo que entre 1993 e 2000 se verificaram valores que ultrapassaram  $300\mu\text{g m}^{-3}$ , atingindo  $600\mu\text{g m}^{-3}$  em 1995, sendo importante ressaltar que em 2001 as concentrações não atingiram  $50\mu\text{g m}^{-3}$ . As áreas amazônicas são marcadas pela sazonalidade, pois neste estudo que também abrangeu o estado de Rondônia (Reserva Ecológica do Rio Jaru), na estação chuvosa a concentração era em torno de 10 a  $15\mu\text{g m}^{-3}$ , enquanto que na estação seca este valor supera facilmente  $100\mu\text{g m}^{-3}$ .

Marques *et al.* (2008) realizaram medições durante o final da estação seca e início da estação chuvosa em Cuiabá no ano de 2006, entre setembro e outubro, sendo 60 dias de amostragem com 24 horas de duração, totalizando 60 amostras de fração fina ( $MP_{2,5}$ ) e 60 na fração grossa ( $MP_{2,5-10}$ ). Os resultados encontrados indicaram haver uma diferença estatística significativa entre os dados de setembro e outubro, uma vez que em setembro as concentrações chegaram a  $161\mu\text{g m}^{-3}$ . Também verificou a média para cada dia da semana, evidenciando o efeito dos finais de semana, onde as concentrações eram mais baixas em função provavelmente da não ressuspensão de poeira do solo provocada pelo atrito dos veículos. Marques (2011) estudou a variação de  $MP_{10}$  entre 2008 e 2009 na cidade de Cuiabá tendo medido concentrações de  $200\mu\text{g m}^{-3}$  no período noturno para  $MP_{10}$  (entre 18 horas e 6 horas do dia seguinte, sendo  $76\mu\text{g m}^{-3}$  de  $MP_{2,5}$ ), enquanto que durante o dia a concentração foi de  $108\mu\text{g m}^{-3}$  (entre 6 horas e 18 horas), o que gerou uma média para 24 horas de  $154\mu\text{g m}^{-3}$  em 27/08/2008. No ano de 2008 e 2009 o padrão de 24 horas foi ultrapassado duas vezes, sendo 154 e  $179\mu\text{g m}^{-3}$  em 2008 e 189 e  $155\mu\text{g m}^{-3}$  em 2009.

Cavicchioli *et al.* (2010) realizou medições de  $MP_{2,5}$  na estação seca de 2009 nas cidades Rondonópolis, Sorriso, Feliz Natal, Sinop, Juara, Guarantã do Norte e Cuiabá (eixo de influência da BR-163 no Estado de Mato Grosso). Em Cuiabá as concentrações variaram entre 16 e  $40\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$ , e 35 e  $155\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{10}$ . Nas demais cidades as concentrações foram inferiores a  $20\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$  e apenas uma amostra em Sorriso atingiu  $52\mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{10}$ , sendo que as demais se mantiveram inferiores a  $50\mu\text{g m}^{-3}$ .

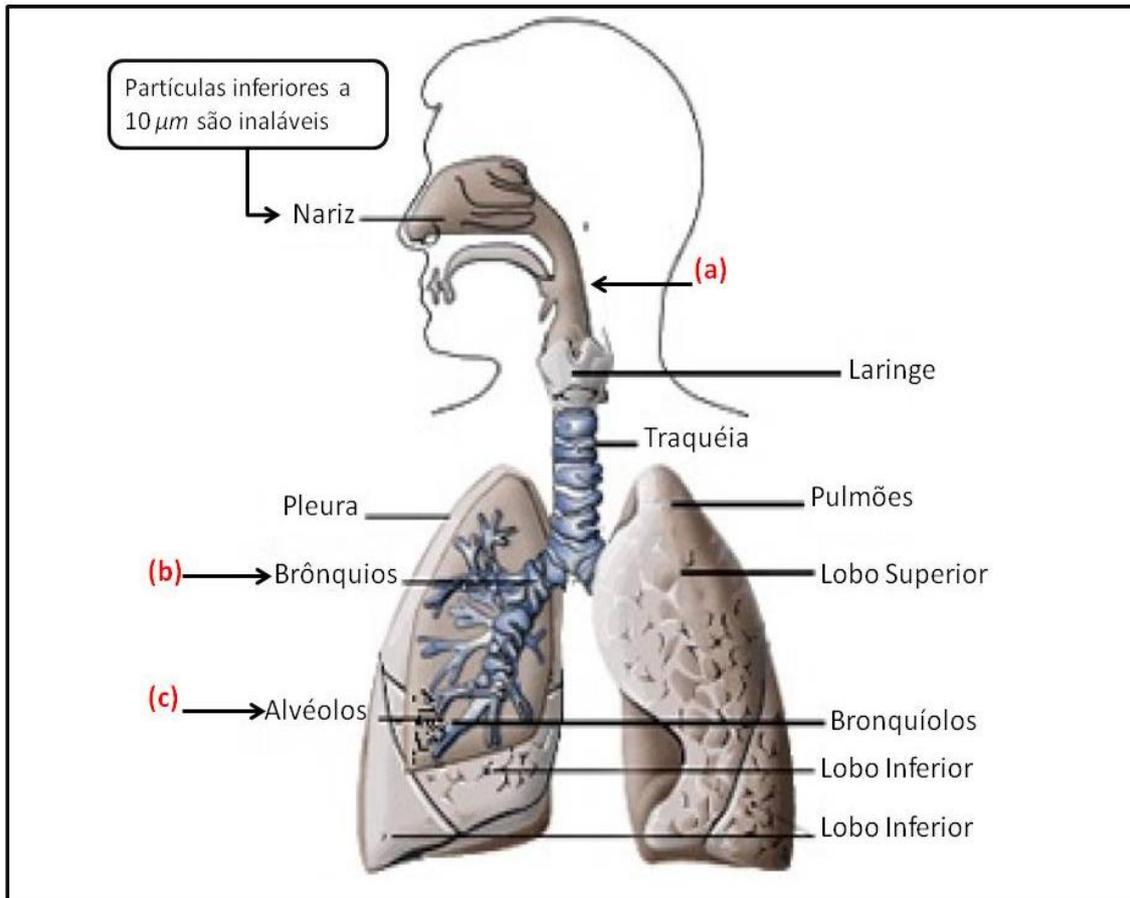
## CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE

O  $MP_{10}$  tem sido mais estudado pois pode ser inalado devido ao seu tamanho. Sabe-se que seus efeitos são mais sentidos no sistema respiratório e cardiovascular (WHO, 2006) A maior parte da acidez e da atividade mutagênica (dano na molécula de DNA) está nas partículas com tamanho de até  $2,5\mu\text{m}$  (WHO, 2003). Isto porque nas partículas da fração grossa, que envolve tamanhos aerodinâmicos entre 2,5 e  $10\mu\text{m}$ , o processo de formação destas partículas é basicamente o mecânico, ocasionado pelo atrito entre partículas maiores que  $10\mu\text{m}$ , a maioria destas oriundas de processos de ressuspensão do solo, seja nas práticas agrícolas ou na circulação de automóveis. Já as partículas da fração fina são formadas basicamente por gases, envolvendo os processos de nucleação e conversão gás-partícula (WHO, 2003).

Analisando a Figura 1, se observa que: (a) as partículas maiores do que  $5\mu\text{m}$  ficam retidas nas vias respiratórias superiores, (b) as de tamanho entre 0,1 e  $0,5\mu\text{m}$  atingem os brônquios, podendo ser expectoradas e, (c) as de tamanho inferior a  $0,1\mu\text{m}$  são capazes de atingir as alvéolos pulmonares, podendo causar danos irreversíveis (Miranda, 2008). Entre os aerossóis secundários com tamanho inferior a  $2,5\mu\text{m}$  que podem se formar por reações químicas na atmosfera tem-se o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , resultante da oxidação do  $\text{SO}_2$ ), o ácido nítrico

( $\text{HNO}_3$ , resultante da oxidação do  $\text{NO}_2$ ) e o nitrato de amônia ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , resultado da reação do  $\text{HNO}_3$  com a amônia –  $\text{NH}_3$ ).

Figura 1 - Esquema sobre a atuação do material particulado inalável sobre o sistema respiratório



Organizador: Rodrigo Marques (Adaptado de Miranda, 2008 e Freguglia e Fonseca, 2008)

Como a fração de  $\text{MP}_{2,5}$  atinge as vias respiratórias inferiores, pode causar vários danos à saúde, como problemas respiratórios e cardiovasculares (WHO, 2006), além de outros problemas como baixa defesa imunológica, problemas cardíacos, renais, neurológicos, além de poder provocar alterações nos cromossomos (Wei e Meng, 2006). Estudos mostram que o aumento ou a queda das concentrações do material particulado inalável tem sido associada ao aumento ou queda de morbidade (Marcilio e Gouveia, 2007; Mar *et al.*, 2000; Saldiva *et al.*, 1995; Saldiva *et al.*, 1994). Romero *et al.* (2010) relatam que o alto número de enfermidades e mortes causados por exposição a MP em Santiago estão relacionados com áreas ambientalmente mais vulneráveis à incidência de poluição atmosférica. Ribeiro *et al.* (2002) mostram que trabalhadores em uma indústria de cimento no Rio de Janeiro tem sido expostos a concentrações de material particulado superiores ao limite estabelecido pela legislação brasileira.

Existem diferenças na forma de resposta imunológica em diferentes indivíduos. Atenção especial deve ser dada às crianças, já que estas se encontram em maior risco quando se expõem à poluição do ar (Sacks *et al.*, 2011; Kelishadi 2010; Kim 2004). Um estudo realizado com crianças e adolescentes de até 15 anos no Irã (Poursafa *et al.* 2011), demonstra que poluentes atmosféricos, especialmente  $\text{PM}_{10}$ , estiveram negativamente relacionados com a contagem de hemoglobina e glóbulos vermelhos e positivamente relacionados com a contagem de glóbulos brancos e plaquetas, o que pode provocar um estado pró-inflamatório. Em

pesquisa na região sul da Amazônia brasileira, Carmo *et al* (2010) observaram o incremento de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  nos níveis de exposição ao material particulado esteve associado a aumentos de 2,9 e 2,6% nos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias de crianças no sexto e sétimo dias subsequentes à exposição ao MP.

De acordo com Braga *et al.* (2007), há uma associação positiva entre o incremento no número de atendimentos de pronto-socorro motivados por doenças respiratórias ao aumento de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  no  $\text{MP}_{10}$  em Itabira-MG. Nos Estados Unidos foi estimado um benefício anual na saúde na ordem de 80 bilhões de dólares devido a adoção de novos padrões de emissões e tecnologias nos motores veiculares e na qualidade do combustível utilizado, que teve um custo anual de 2 bilhões de dólares, um benefício da ordem de 40 pra 1 (ECE, 2004). No Brasil pode-se citar o 'Programa de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade do Ar – VIGIAR', coordenado pelo Ministério da Saúde (MS, 2006) como uma ação de Governo, associando qualidade do ar e saúde da população. Pope *et al* (2009), utilizando dados coletados em áreas metropolitanas de 51 cidades estadunidenses entre 1970 e 2000, destacam que foi encontrada associação entre o decréscimo de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  na concentração de  $\text{PM}_{2,5}$  com o incremento, em média, de 0.6 anos (variando 0.2 anos para mais ou menos) na expectativa de vida das populações dessas cidades.

A Organização Mundial de Saúde definiu objetivos a serem cumpridos por países para reduzir a exposição da população ao MP (Quadro 1). A cada nível alcançado, o risco de mortalidade causada por doenças associadas à poluição do ar é diminuído.

Quadro 1 - Guias de qualidade do ar da OMS e objetivos intermediários para o Material Particulado: concentrações médias anuais<sup>a</sup>

Objetivo - Nível	$\text{MP}_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	$\text{MP}_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Bases para o Nível selecionado
Objetivo intermediário -1 (OI-1)	70	35	Estes níveis estão associados com um risco de mortalidade em longo prazo por volta de 15% maior do que o <b>guideline</b> .
Objetivo intermediário -2 (OI-2)	50	25	Além de outros benefícios para a saúde, estes níveis reduzem o risco de mortalidade prematura em 6% aproximadamente [2-11%] em comparação com o nível OI-1.
Objetivo intermediário -3 (OI-3)	30	15	Além de outros benefícios para a saúde, estes níveis reduzem o risco de mortalidade prematura em 6% aproximadamente [2-11%] em comparação com o nível OI-2.
GQA - Guia de Qualidade do ar ( <b>guideline</b> )	20	10	Estes são os níveis mais baixos, dos quais se tem demonstrado, com mais de 95% de confiança, que a mortalidade total, cardiopulmonar e por câncer de pulmão, aumenta a resposta à exposição prolongada ao $\text{MP}_{2,5}$ .

<sup>a</sup> Se prefere o uso do valor de referência do  $\text{MP}_{2,5}$   
Fonte: Adaptado de OMS 2006.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma resolução de 1990, as autoridades brasileiras precisam discutir e atualizar os padrões de qualidade do ar para  $\text{MP}_{10}$  além de incluir padrões para o  $\text{MP}_{2,5}$ . Várias pesquisas têm encontrado concentrações que ultrapassam os limites estabelecidos tanto pela Resolução CONAMA 003/1990, mas também pelo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos EUA (EPA), e pela Comissão Européia de Meio Ambiente (ECE). Considerando o material disponível sobre monitoramento de particulado, tem se verificado um aumento na rede de estações de monitoramento.

Entretanto, em alguns estados como no Mato Grosso há uma falta de recursos e investimentos que tem limitado a atuação do órgão ambiental, sendo os boletins de qualidade do ar baseados em modelos de estimativa e não com medições *in loco* como prevê a atual legislação. Em outros estados como Goiás, Pernambuco e no Distrito Federal existem apenas medições de PTS, sendo necessário implementar as medições de MP<sub>10</sub>. Uma ação importante seria a disponibilização on-line de todos os relatórios anuais de qualidade do ar por todos os órgãos responsáveis, pois existe dificuldade em encontrar os relatórios referentes ao Estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, além de que estados como Espírito Santo e Rio de Janeiro ainda não disponibilizaram os relatórios dos últimos anos.

Diversas atividades humanas acabam contribuindo para as emissões de particulado, sejam as queimadas oriundas de desmatamento que predominam na estação seca em áreas de Floresta ou Cerrado, tendo como foco a abertura de novas áreas para atividades agropecuárias, ou em áreas densamente povoadas, onde as emissões veiculares e industriais contribuem na concentração deste poluente. Assim, tanto o estabelecimento de novos padrões como a ampliação da rede de monitoramento contínua, conforme o previsto na criação do PRONAR em 1989 pode colaborar para evitar a exposição prolongada da população a concentrações nocivas de material particulado inalável, exposição esta que acaba pode vir a impactar o sistema público de saúde.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M.F.; ORSINI, C.; MAENHAUT, W. Relation between aerosol sources and meteorological parameters for inhalable atmospheric particles in Sao Paulo City, Brazil. **Atmospheric Environment**, 28, nº 14, pp. 2307-2315, 1994.
- ANDRADE, M.F.; MIRANDA, R.M.; FORNARO, A.; KERR, A.; OYAMA, B.; ANDRE, P.A.; SALDIVA, P. Vehicle emissions and PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in six Brazilian cities. **Air Qual Atmos Health**, special edition, 2010.
- ARTAXO, P.; CERAB, F.; RABELLO, M.L.C. Elemental composition of aerosol particles from two atmospheric monitoring stations in the Amazon Basin. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B75**, 277-281, 1993.
- ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazônica**, 35(2): 185 – 196, 2005.
- BRAGA, Alfésio Luís Ferreira *et al.* . Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 2007.
- CARMO, CN; HACON, S; LONGO, K M; FREITAS, S; IGNOTTI, E.; *et al.* Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Rev Panam Salud Publica**. 2010;27(1):10–6.
- CAVICCHIOLI, A.; MORRONE, E. P.; MARQUES, R.; FORNARO, A. Impactos atmosféricos das transformações territoriais e do crescimento do agronegócio na Amazônia mato-grossense. **Confins** [Online], 10 | 2010, posto online em 18 Novembro 2010. URL : <http://confins.revues.org/6646>
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2010**. Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios- ISSN 0103-4103, São Paulo, 2011. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 10/10/2011.
- Comissão Européia do Meio Ambiente - ECE. **Comparison of EU and US approaches towards control of Particulate Matter: case study 4**. Milieu Ltd, Danish National Environmental Research Institute and Center for Clean Air Policy, Copenhagen, 2004. Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/case\\_study4.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/case_study4.pdf). Acesso em: 10/10/2011.
- DALLAROSA, J.; TEIXEIRA, E.C.; MEIRA, L.; WIEGAND, F. Study of the chemical elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particles of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the urban and rural areas of South Brazil. **Atmospheric Research**, 89, 2008, 76–92.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency . **Air pollution standards**. 2010. Disponível em: [www.epa.gov](http://www.epa.gov). Acesso em: 01/09/2011.

FREGUGLIA, J.; FONSECA, M. Saúde Preventiva. 2008. <[http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/banco\\_objetos\\_crv/Saude\\_preventiva\\_final.pdf](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/banco_objetos_crv/Saude_preventiva_final.pdf)>

FINLAYSON-PITTS, B. J.; PITTS, J. N., Jr. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. Academic Press, San Diego, 2000.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Monitoramento da qualidade do ar na região metropolitana de Belo Horizonte em 2010. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 52p.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba – Ano de 2009. Curitiba: IAP, 2010, 63p.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL – BRASÍLIA AMBIENTAL – IBRAM. Relatório do Monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal – 2008. Brasília: IBRAM, 2008, 35p.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. Relatório da Qualidade do Ar na Região da Grande Vitória – 2007. Vitória: IEMA, 2008, 52p.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- INEA. Relatório Anual da Qualidade do Ar no Estado do Rio de Janeiro 2009. Rio de Janeiro: INEA, 2009, 108p.

KELISHADI, R; HASHESMIPOUR, M; ASHTIJOU, P; MIRMOGHATADEE, P; POURSAFA, P; KHAVARIAN, N, *et al.* Association of cell blood counts and cardiometabolic risk factors among young obese children. **Saudi Med J**. 2010;3:406-12.

KIM, J. J.; SMORODINSKY, S; LIPSETT, M; SINGER, B.C.; HODGSON, A.T.; OSTRO, B. Traffic-related air pollution near busy roads the East Bay Children’s Respiratory Health Study. **Am J Respir Crit Care Med**. v. 170, n. 5, p. 520-526. Disponível em <http://ajrccm.atsjournals.org/content/170/5/520.long>. Acesso em 10 nov. 2011. doi: 10.1164/rccm.200403-281OC

MAENHAUT, W.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.-T.; RAJTA, I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B**, 189, 243–248, 2002.

MAR, T. F.; NORRIS, G.A.; KOENIG, J. Q; LARSON, T. V. Associations between Air Pollution and Mortality in Phoenix, 1995–1997. **Environmental Health Perspectives** • Volume 108, Number 4, April, 2000.

MARCILIO, I; GOUVEIA, N. Quantifying the impact of air pollution on the urban population of Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S529-S536, 2007.

MARQUES, R. *et al.* “PM<sub>2,5/10</sub> and Black Carbon concentrations during transition period between dry and wet season of 2006 in CuiabáCity”. In: **European Aerosol Conference**, Thessaloniki-Greece, 2008.

MARQUES, R. **Avaliação temporal da composição química das águas de chuva e do material particulado inalável: um estudo aplicado a Cuiabá**. (Tese de Doutorado). São Paulo: IAG, 2011, 131p.

Ministério da Saúde – MS. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade do Ar – VIGIAR. Secretaria de Vigilância em Saúde, Brasília, 2006.

Ministério do Interior - MI. **Portaria MINTER nº 231, de 27 de abril de 1976**. Dispõe sobre o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar determinando as concentrações de poluentes atmosféricos. Disponível em: [www.ipef.br/legislacao/bdlegislacao/arquivos/5114.rtf](http://www.ipef.br/legislacao/bdlegislacao/arquivos/5114.rtf). Acesso em: 21 out. 2010

Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar determinando as concentrações de poluentes atmosféricos. In: MMA. Livro das Resoluções do CONAMA. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano>. Acesso em: 21 out. 2010.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 005, de 15 de junho de 1989**. Dispõe sobre a instituição do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar In: MMA.

Livro das Resoluções do CONAMA. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano>. Acesso em: 21 out. 2010

MIRANDA, R.M.; ANDRADE, M.F.; FORNARO, A.; ASTOLFO, R.; ANDRE, P.A.; SALDIVA, P. Urban air pollution: a representative survey of PM<sub>2.5</sub> mass concentrations in six Brazilian cities. **Air Qual Atmos Health**, special edition, 2010.

MIRANDA, R.M. **Estudo comparativo da poluição urbana em algumas capitais do Brasil**. Apresentação no Seminário da Pós Graduação do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. Abril de 2008.

OMS-World Health Organization. **Air Quality Guidelines: Global updated 2005**. 2006. <http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Monitoring-home/mon-index.htm>

Paraná. Governo do Estado. Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV. Curitiba: SEMA/IAP, Maio, 2011, 95p.

PAULIQUEVIS, T., LARA, L. L., ANTUNES, M.L., ARTAXO, P. Aerosol and precipitation chemistry in a remote site in Central Amazonia: the role of biogenic contribution. **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, 7, 11465–11509, 2007.

POPE, C.A, EZZATI M., DOCKERY, D.W.. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. **N Engl J Med** 2009; 360:376-86.

POURSAFA, Parinaz *et al* . Associação da poluição atmosférica com parâmetros hematológicos em crianças e adolescentes. **J. Pediatr. (Rio J.)**, Porto Alegre, v. 87, n. 4, Aug. 2011 . Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 12 nov 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0021-75572011000400013>.

RIBEIRO, F. S. N. *et al* . Processo de trabalho e riscos para a saúde dos trabalhadores em uma indústria de cimento. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 5, out. 2002 . Disponível em <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 15 jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2002000500016>.

ROMERO, H; IRARRÁZVAL, F.; OPAZO, D.; SALGADO, M.; SMITH, P. Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. **EURE (Santiago)**, Santiago, v. 36, n. 109, dic. 2010 . Disponível em <<http://www.scielo.cl>>. Acesso em 11 fev. 2012. doi:10.4067/S0250-71612010000300002.

SACKS, J.D.; STANEK, L. W.; LUBEN, T. J.; JOHNS, D.O.; BUCKLEY, B.J.; BROWN, J.S.; ROSS, M. Particulate Matter–Induced Health Effects: Who Is Susceptible? **Environmental Health Perspectives**, v. 119, n 4, April 2011. •

SALDIVA, P.H.N., LICHTENFELS, A.J.F.C., PAIVA, P.S.O., BARONE, I.A., MARTINS, M.A., MASSAD, E., PEREIRA, J.C.R., XAVIER, V.P., SINGER, J.M., BOHM, G.M. Association between air-pollution and mortality due to respiratory-diseases in children in São Paulo, Brazil – a preliminary report, **Environ. Res.**, 65(2), 1994, 218-225.

SALDIVA, P.H.N., POPE, C.A., SCHWARTZ, J., DOCKERY, D.W., LICHTENFELS, A.J., SALGE, J.M., BARONE, I., BOHM, G.M. Air-pollution and mortality in elderly people – a time-series study in São Paulo, Brazil, **Archives of Environ. Health**, 50(2), 1995, 159-163.

SÁNCHEZ-CCOYLLO, O.R.; ANDRADE, M.F. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil. **Environmental Pollution**, 116, p. 257-263, 2002.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH/GO. Relatório da Qualidade do Ar – Goiânia 2008. Série Relatórios. Goiânia: SEMARH, 2008, 34p.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N.. **Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change**. John Wiley & Sons, New York, 2006.

TORRES, F. T. P; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v.4, n.16, p.23 – 39, out. 2005. Disponível em: <http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br>. Acesso em: 22 mar. 2009.

UNIÃO EUROPÉIA - UE. **Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa**. Jornal Oficial da União Européia de 21 de Maio de 2008.

WEI, A.; MENG, Z. Evaluation of micronucleus induction of sand dust storm fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in human blood lymphocytes. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.22, n.3, p.292–297, nov. 2006.

WHO-Europe. World Health Organization. **Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution**. Copenhagen, Dinamarca. 2006.

WHO-World Health Organization. **Health Aspects of Air Pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide**. Report on a WHO working group: 13-15 January 2003. Bonn, Germany, 2003. [http://www.wmo.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/112199/E79097.pdf](http://www.wmo.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf)