

MATERIAL PARTICULADO E SEUS EFÊITOS EM UM MUNICÍPIO INDUSTRIALIZADO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Matheus Jeferson de Oliveira Peixoto*

RESUMO

A qualidade do ar vem sendo um tema amplamente debatido ao longo das últimas décadas, e ela depende de fatores como condições meteorológicas, características da região e das emissões de poluentes. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre o impacto que os veículos e indústrias causam na qualidade do ar (do ponto de vista do material particulado) em Volta Redonda, bem como buscar hipóteses para que o crescimento urbano se dê da forma mais harmônica possível. Fazendo uma análise dos dados disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente em seus relatórios sobre a qualidade do ar no estado do Rio de Janeiro no período de 2010 a 2015, foi possível perceber ao se comparar o padrão nacional e da Organização Mundial da Saúde que o ar de Volta Redonda apresentou níveis de material particulado acima dos considerados seguros em várias ocasiões. Também foram apresentadas algumas maneiras que poderiam ajudar a reduzir a emissão deste poluente, como catalisadores e precipitadores eletroestáticos por fim considerações do que poderia ser feito a respeito do controle da qualidade do ar.

Palavras-chave: Material Particulado. Qualidade do ar. Volta Redonda

*Engenheiro de Produção, Universidade Federal Fluminense. Servidor público na Prefeitura Municipal de Angra dos Reis. E-mail: matheusjeferson@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar vem sendo um tema amplamente debatido ao longo das últimas décadas, e ela depende de fatores como condições meteorológicas, características da região e das emissões de poluentes. Visto que sua concentração não é uniforme e cada região tende a apresentar características distintas.

Os impactos da expansão em massa do consumo de combustíveis fósseis merecem destaque à medida que interferem no meio ambiente e na saúde dos seres vivos de maneira nociva, ao passo que a queima dessas matrizes energéticas liberam uma grande quantidade de poluentes na atmosfera.

A qualidade de ar no estado do Rio de Janeiro é monitorada desde 1967, quando foram instaladas as primeiras estações semiautomáticas de monitoramento da qualidade do ar no município do Rio de Janeiro (INEA, 2013). Porém só a partir do ano de 1990 que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu padrões mínimos nacionais para os poluentes atmosféricos de acordo com a Resolução CONAMA 3/1990. Ela decreta os níveis de fumaça, partículas inaláveis (material particulado MP_{10}), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio que podem ser minimamente toleradas, assim como os métodos de medição e seus padrões.

A nível nacional, um dos primeiros esforços para a gestão da qualidade do ar veio com a criação do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), na quinta Resolução de 1989 do CONAMA. Com a finalidade de permitir de uma maneira ambientalmente segura o desenvolvimento econômico e social do país, através da limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, visando à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas ainda consideradas não degradadas (CONAMA, 1989).

Um estudo realizado por Vormittag et al. (2014), mostrou um precário e defasado monitoramento da qualidade do ar no Brasil. O PRONAR não foi cumprido. O monitoramento ocorre em apenas 40% das unidades federativas (11/27); o Distrito Federal e 10 estados: Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe. Apenas 1,7% dos municípios são cobertos para o diagnóstico de poluição do ar e por 252 estações de monitoramento. A Região Sudeste é a mais populosa, apresenta o maior número

das estações - 76% (194/252) do país e representa 78% (75/95) dos municípios monitorados.

De forma internacional, cada país monitora e regulamenta a qualidade do seu ar. Porém a Organização Mundial da Saúde (OMS) possui um guia para a qualidade do ar baseado em estudos que visam garantir níveis para os poluentes de maneira que cause os menores impactos possíveis na saúde de uma maneira geral (apesar de não existir níveis seguros de poluição atmosférica para a saúde humana). O primeiro guia foi criado em 1987, posteriormente atualizado em 1997 e em 2005 recebeu sua última edição (WHO, 2006). Ao contrário dos padrões brasileiros, que não são atualizados há mais de 25 anos.

Carmo et al. (2010) e Silva et al. (2010) realizaram estudos mostrando a associação entre o material particulado gerado na queima de biomassas e seus efeitos na saúde da população do sul da Amazônia. Castanho (1999), Queiroz et al. (2007) e Torres e Martins (2005), pesquisaram sobre os efeitos nocivos que o material particulado causou nos municípios de São Paulo - SP, Sete Lagoas - MG e Juiz de Fora - MG respectivamente. Mantovanelli (2002), Pereira et al. (2010) e Mascarenhas et al. (2004), fizeram um estudo para caracterizar, entre outras coisas, a hidrodinâmica do material particulado no meio aquático na baía de Paranaguá - PR, no Estuário de Caravelas - BA e no Rio Acre respectivamente.

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre os impactos causados pelo transporte urbano e da indústria na qualidade do ar de Volta Redonda, apresentando os níveis medidos nas estações de monitoramento do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA) para o poluente Material Particulado. E a partir destes dados, realizar uma comparação com padrões nacionais e internacionais a fim de verificar como este poluente estaria influenciando na qualidade de vida deste industrializado município do estado do Rio de Janeiro. E por fim fazer considerações e sugestões para os problemas apresentados.

Volta Redonda é o município de maior densidade demográfica, fora da região metropolitana, no estado do Rio de Janeiro. Seu centro urbano é razoavelmente compacto e de relevo predominantemente plano, características estas que sugerem um deslocamento curto e concentrado se comparado aos grandes centros. Aliando isso a uma frota que ultrapassa os cento e vinte mil veículos, a poluição e o trânsito tornam-se quase inevitáveis (IBGE, 2016).

Segundo o IBGE (2008), Rio de Janeiro, Volta Redonda e Cantagalo respondem, juntos, por 64% do potencial de emissão industrial de PM_{10} no Estado do Rio de Janeiro. Metalurgia, no Rio de Janeiro e em Volta Redonda, e Minerais Não-metálicos, nos três municípios, são as divisões com maior contribuição para o potencial emissor de PM_{10} . Indicando, portanto, dois núcleos no Estado do Rio de Janeiro com elevada emissão potencial industrial de PM_{10} : a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Duque de Caxias e Itaboraí), com 33% da emissão potencial, e a Região do Médio Paraíba (Volta Redonda, Barra Mansa e Barra do Piraí) com 31%.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MATERIAL PARTICULADO

De forma geral, entende-se como material particulado (MP) um conjunto de particulados, ou aerossóis, líquido ou sólido, suspenso no ar. Geralmente é invisível a olho nu, pois possui dimensão entre $0,001\ \mu\text{m}$ e $100\ \mu\text{m}$. Esses particulados são grandes comparados com o tamanho das moléculas dos gases presentes na atmosfera, pois as moléculas desses gases possuem valores típicos de $0,0001\ \mu\text{m}$ a $0,001\ \mu\text{m}$ (BAIRD, 2011; SEINFELD e PANDIS, 2006). Embora alguns particulados apresentem formas distintas da esférica, é convencional tratar a totalidade deles como se apresentassem essa forma, pois esse diâmetro é uma propriedade relevante em seus estudos.

Os particulados são classificados dependendo de o seu diâmetro ser maior ou menor que $2,5\ \mu\text{m}$. Atualmente, o MP com diâmetro entre $0,001\ \mu\text{m}$ e $0,1\ \mu\text{m}$ é chamado de partícula ultrafina. Essas dimensões caracterizam o comportamento dos aerossóis suspensos na atmosfera. Por exemplo, quando gotículas de água presentes na atmosfera se juntam e formam particulados maiores do que $100\ \mu\text{m}$ precipitam em direção ao solo rapidamente (hidrometeoro). Outro exemplo da utilização dessa classificação é com relação à saúde pública, em que particulados abaixo de $10\ \mu\text{m}$ podem atingir os alvéolos pulmonares e carregar com eles outros poluentes perigosos. Os particulados, dependendo das suas fontes, podem conter em suas composições substâncias à base de oxigênio e enxofre, que em contato com a água da atmosfera produz, ao atingir mais de $100\ \mu\text{m}$ de tamanho, chuvas

ácidas que corroem infraestruturas construídas e prejudicam as espécies vivas (BAIRD, 2011; SEINFELD e PANDIS, 2006).

Dentre algumas fontes naturais desses aerossóis estão os sais marinhos, os pólenes, as poeiras trazidas por ventos, às emitidas por vulcões, ou originadas nas biodegradações dos vegetais e dos animais, e nos processos das evapotranspirações das florestas (PESTANO, 2006; PROSPERO et al., 2004).

Entre as fontes antropogênicas (não naturais), os particulados são produzidos nas queimadas de biomassa; nas emissões de motores veiculares à base de combustíveis fósseis; na produção, manejo, disposição e incineração de resíduos sólidos rurais e urbanos; nas emissões originadas no processamento energético em parques industriais, como incineradores, chaminés; na ressuspensão de particulados do solo por motivo de tráfego nas vias públicas; nos gastos dos pneus; nas atividades da construção civil e metalúrgica, etc. Muitos outros processos antropogênicos também são fontes de aerossóis, por exemplo, respiração humana e de animais, tosses, espirros, o ato da fala, a limpeza de ambientes ou de objetos por jateamento seja de água ou areia.

Efetivamente, o MP é formado por sulfatos, nitratos, amônia, material orgânico, espécies de cristais, sais marinhos, metais óxidos, íons de hidrogênio e água (BAIRD, 2011; SEINFELD e PANDIS, 2006). Espécies como sulfatos, amônias, orgânicos (carbono elementar), e certos metais de transição são encontrados nas partículas mais finas (MP_{2,5}). Materiais cristalizados, incluindo, silício, cálcio, magnésio, alumínio, ferros, partículas orgânicas biogênicas (pólen, esporos, fungos, bactérias, vírus, fragmentos de plantas) são usualmente encontrados nas partículas mais grossas (MP₁₀).

O efeito de parâmetros meteorológicos (temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão, velocidade do vento, direção do vento e precipitação), e sua relação com os ambientes interno e externo, são, também, discutidos na temática da qualidade do ar, através dos seus impactos nas concentrações do MP. As ocorrências de estagnação, de recirculação e ventilação natural são os efeitos que mais impactam nos valores das concentrações desse poluente na baixa atmosfera. As concentrações máximas de MP são observadas nas condições atmosféricas estagnadas (CHITHRA e SHIVA NAGENDRA, 2014).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Localizada ao sul do estado do Rio de Janeiro, na região do Médio Paraíba (figura 1) está o município de Volta Redonda, que abrange uma área superior aos 182 km². Em sua última contagem populacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, sua população ultrapassou os 262.900 habitantes, o que acarreta em uma densidade demográfica com cerca de 1.412 habitantes por km², sendo a maior do estado fora da região metropolitana (IBGE, 2016).

Tendo um clima considerado mesotérmico de estações bem definidas, Volta Redonda apresenta temperatura média compensada de 21°C, com uma média máxima anual de 27,8°C e média mínima anual de 16,5°C. Com uma média de 130 dias de chuva ao ano, e índice pluviométrico anual em torno de 1.337mm. Sua estação chuvosa vai de outubro a março, englobando todo o verão. Sua umidade relativa do ar é alta, 77%, mesmo nos meses de inverno (REIS, 2009; GIODA et al., 2000).

Segundo a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA), na região de Volta Redonda os ventos sopram predominantemente de leste para oeste em todas as épocas do ano, ou seja, são soprados na direção de bairros como Retiro e Belmonte que estão entre os mais populosos do município, e onde se encontram duas das estações de monitoramento da qualidade do ar (FEEMA, 2007).

Sua altitude varia de algo em torno de 363 m (as margens do rio Paraíba do Sul) e 707 m (situado na ponta nordeste), acima do nível do mar. A altitude média de sua área central de 380,3 m acima do nível do mar (GIODA et al., 2000).

A área central do município é cortada pela rodovia BR-393, que conecta a rodovia Rio – São Paulo com a Rio – Belo Horizonte e Rio – Bahia, o que acaba acarretando, diariamente, a passagem de mais de 40.000 veículos pela cidade, principalmente os veículos destinados ao transporte de mercadorias. Fazendo do tráfego intenso um dos principais contribuintes para a poluição atmosférica (REIS, 2009).

No ano de 1941 foi fundado no município um dos maiores complexos siderúrgicos integrados da América Latina. Segundo Cavalcanti (2012) este tipo de planta é responsável por uma quantidade de emissão de gases, partículas e vapores muito grande em comparação a outros tipos de indústria. Seus principais poluentes

são: material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3), monóxido de carbono (CO), metais pesados, compostos alicíclicos aromáticos, dioxinas e furanos, bifenilas policloradas, compostos ácidos, óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) e compostos orgânicos voláteis (COVs), estes últimos precursores do ozônio. Indústrias de cal e cimento também fazem parte do complexo industrial volta-redondense, e contribuem para o aumento de poluentes atmosféricos.

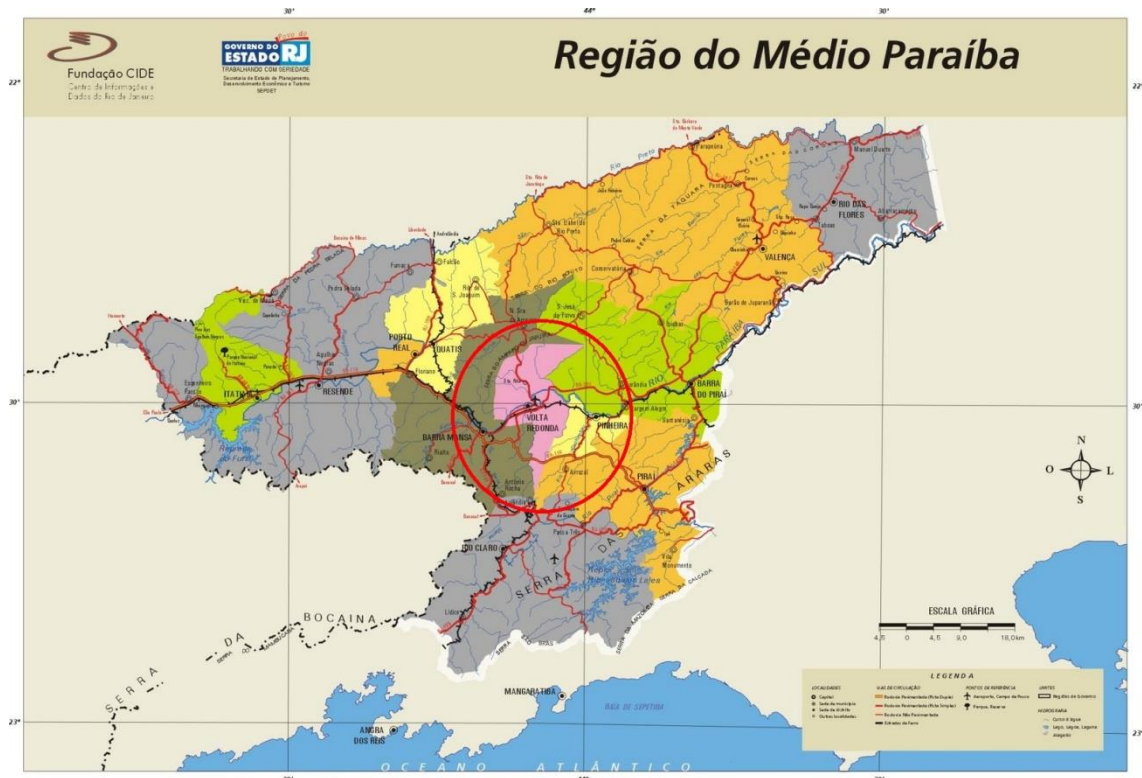


Figura 1 – Mapa da Região do Médio Paraíba

Fonte: <http://mapasblog.blogspot.com.br/2011/11/mapas-do-estado-do-rio-de-janeiro.html>

Em publicação realizada pela FEEMA (1999) sobre a qualidade do ar em Volta Redonda afirmou-se que o município possuía um nível considerável de poluição em seu ar. Este estudo foi baseado nos resultados de duas campanhas de monitoramento da qualidade do ar, realizadas entre 1995 e 1996 e em 1999. Época em que as amostras dos poluentes não eram coletadas nas estações atuais, que pertencem a CSN.

De acordo com Relatório Anual publicado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2015) com dados referentes ao ano de 2014, o índice de qualidade do ar na Região do Médio Paraíba foi classificado como bom de 94% a 100%, para todos os poluentes com exceção do PM_{10} que ficou entre 72% e 84%, respectivamente.

Em junho de 2008 o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentou um diagnóstico da poluição do ar proveniente das indústrias no estado do Rio de Janeiro, com indicação aos municípios com os maiores potenciais poluidores, identificado a partir do tipo de indústria e poluentes por eles emitidos. A técnica utilizada foi a "Industrial Pollution Projection System – IPPS" (IBGE, 2008). No estudo, a cidade de Volta Redonda apresentou uma emissão potencial de 10.646 t/ano, ficando assim como a 3ª maior emissora de SO₂ do estado. Segundo o mesmo relatório, a metalurgia é responsável por mais de 70% das emissões potenciais do dióxido de enxofre. Não muito diferente, na Região do Médio Paraíba, as indústrias de minerais não metálicos e metalúrgicas contribuem com mais de 90% das emissões de SO₂ (IBGE, 2008).

No mesmo estudo, porém com relação ao potencial de emissão de MP₁₀, Volta Redonda respondia por 21%, com um potencial de emissão de 4.031 t/ano, ocupando a 2ª posição no ranking estadual. Tendo na metalurgia algo em torno de 50% do potencial poluidor de Material Particulado MP₁₀ (IBGE, 2008).

2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

No Brasil os padrões de qualidade do ar foram definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através de sua Resolução N°003 de 28 de junho de 1990. De acordo com esta Resolução, os padrões de qualidade do ar são as concentrações de poluentes atmosféricos que, quando ultrapassadas, poderão afetar a segurança, a saúde e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) possui um guia para a qualidade do ar baseado em estudos que visam garantir níveis para os poluentes de maneira que cause os menores impactos possíveis na saúde de uma maneira geral (apesar de não existir níveis seguros de poluição atmosférica para a saúde humana). O primeiro guia foi criado em 1987, posteriormente atualizado em 1997 e em 2005 recebeu sua última edição. Estudos estes que estimam que mais de 2 milhões de mortes anuais são atribuídas às doenças causadas pela má qualidade do ar (WHO, 2006).

A tabela 1 mostra os padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), juntamente com os dados regulamentados pelo órgão nacional.

Tabela 1 – Padrões de Qualidade do Ar vigente no Brasil, e proposto pela Organização Mundial da Saúde

Poluentes			Padrões de Qualidade do AR	
			Brasil ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de enxofre (SO_2)	Padrão primário	MMA ¹	80	-
		24-horas	365	20
		10 min	-	500
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	Padrão primário	MMA	80	40
		1-hora	320	200
		Padrão secundário	100	-
Fumaça	Padrão primário	MMA	190	-
		24-horas	60	-
		Padrão secundário	40	-
Monóxido de Carbono (CO)	Padrão primário	MMA	100	-
		24-horas	10.000	-
		1-hora	40.000	-
Partículas Inaláveis (MP_{10})	Padrão primário e secundário	24-horas	150	50
		MMA	50	20
Partículas Inaláveis ($\text{MP}_{2,5}$)	Padrão primário e secundário	MMA	-	10
		24-horas	-	25
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Padrão primário	MGA ²	80	-
		24-horas	240	-
		Padrão secundário	60	-
Ozônio (O_3)	Padrão primário e secundário	24-horas	150	-
		1-hora	-	100
			160	-

¹ Média Aritmética Anual ² Média Geométrica Anual

Fonte: CONAMA (1990); WHO (2006)

3 METOLOGIA

Para a realização deste estudo serão selecionados para avaliação dados sobre a qualidade do ar, especificamente do material particulado MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ nas estações de monitoramento fixas e móveis localizadas no município de Volta Redonda, do Instituto Estadual do Meio Ambiente num período de seis anos.

Através de relatórios periódicos do INEA nos anos de 2010 a 2015, será possível analisar a partir dos padrões estabelecidos pelos órgãos competentes a qualidade do ar, bem como sugerir hipóteses para lidar com os problemas

levantados anteriormente.

Análises comparativas das emissões deste município, com os limites estabelecidos pela resolução 3/1990 CONAMA com os padrões regulamentados pela OMS. Discutir os principais resultados obtidos através dos dois critérios de qualidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 NÍVEIS DE MATERIAL PARTICULADO MP₁₀

Volta Redonda possui três estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar. A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) como parte de um acordo junto ao estado, adquiriu estas redes que estão localizadas em três bairros: Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília (FEEMA, 2007). O município também dispõe de cinco estações de monitoramento semiautomáticas, localizadas nos bairros: Sidervile, Santa Rita do Zarur, Conforto, Aero clube e Vila Mury. E serão proveniente destas oitos estações os dados analisados neste artigo.

Tanto pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) quando pela Organização Mundial da Saúde (OMS) o material particulado MP₁₀ é monitorado de duas formas distintas. O chamado curto período que mostra o nível do poluente em um período de 24 horas, e o longo período que consiste na média aritmética anual, ou seja, o valor médio observado durante um ano inteiro.

4.1.1 EXPOSIÇÃO DE CURTO PERÍODO

Em nenhum dos seis anos analisados os níveis do material particulado MP₁₀ nas três estações fixas de monitoramento no período de 24 horas foi considerado seguro, de acordo com o padrão estabelecido pela Organização Mundial da Saúde, que é de 50 µg/m³, com destaque para o ano de 2014 na estação do bairro Retiro que registrou a maior concentração de todo o período analisado (145 µg/m³), quase o triplo do valor de referência internacional. Como ilustra a figura 2.

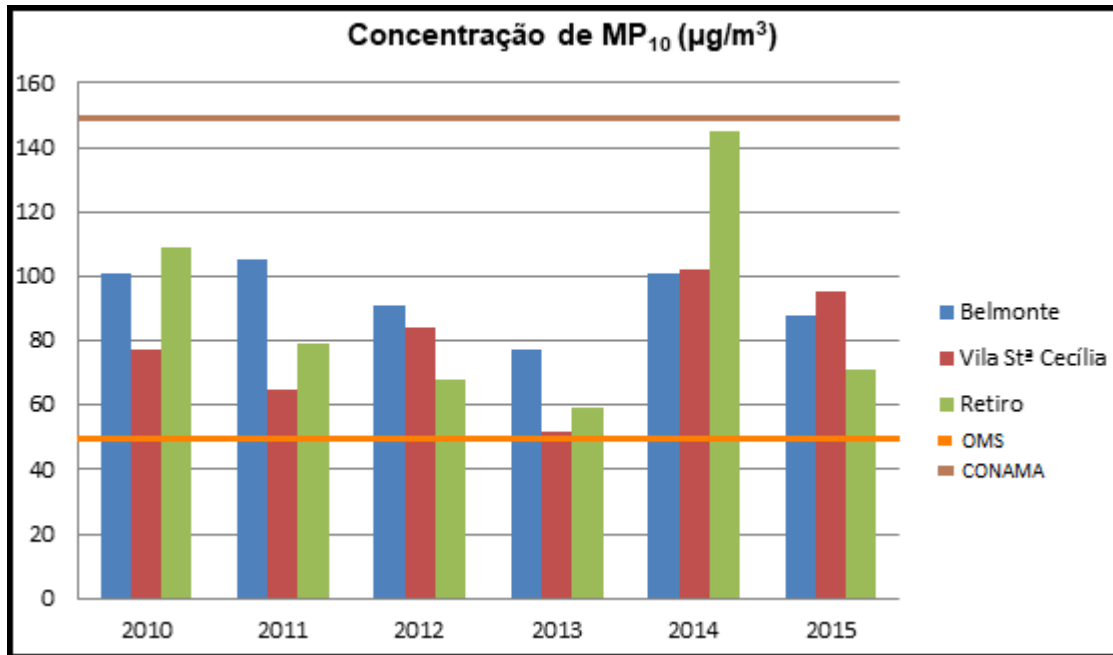


Figura 2 – Concentração de MP₁₀ nas estações fixas no período de 24h

Fonte: Elaboração própria

Entretanto, segundo padrão nacional, cujo limite é de 150 µg/m³ diários, os níveis do MP₁₀ em Volta Redonda não violaram os valores de referência.

Nas cinco estações semiautomáticas, o padrão diário de poluição observado foi similar aos apresentados nas três anteriormente citadas. Sendo assim, as concentrações máximas foram superiores aos valores máximos recomendados pela OMS, com exceção da Vila Mury em 2013 e Aero Clube em 2015, conforme demonstrado na figura 3. E tal como nas estações fixas, os níveis de material particulado não ultrapassaram o valor de referência do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Não tem como deixar de notar a grande diferença que os valores referência estabelecidos pela CONAMA e OMS para o MP₁₀, (150 µg/m³ e 50 µg/m³ respectivamente) apresentam. E isso se deve principalmente na diferença de data em que eles foram lançados. Enquanto o primeiro é de 1990 o segundo foi publicado em 2005, ou seja, 15 anos depois. A Organização Mundial da Saúde leva em consideração estudos sobre mortalidade associadas ao MP₁₀ publicados posteriormente ao lançamento do padrão brasileiro em seu relatório.

Segundo relatório da OMS (2006), as evidências sobre o impacto causado pelo material particulado na saúde pública é consistente em mostrar efeitos adversos a saúde, mais predominantes nos sistemas respiratório e cardiovascular. Toda a população é afetada, mas a suscetibilidade a poluição pode variar com a

saúde ou a idade. Os estudos relataram efeitos de mortalidade a curto prazo para o MP_{10} de aproximadamente 0,5% a cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 24 horas) acima do limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Desta forma, o valor referência da CONAMA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) representaria um risco de aumentado em 5% na mortalidade diária, mostrando que o material particulado vem apresentando níveis preocupantes e causando danos a população em Volta Redonda, mesmo estando dentro da lei.

Para ajudar os países (cidades) que apresentam altos valores nas concentrações de material particulado, a OMS (2006) estabeleceu três alvos interinos que podem servir como metas temporárias, a fim de causar os menores transtornos possíveis. O IT-1 (interin target-1) é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mesmo valor de referência CONAMA), com aumentando cerca de 5% a mortalidade diária, o IT-2 de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com 2,5% de incremento nos óbitos, e o IT-3 a $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com 1,2% nas mortes diárias.

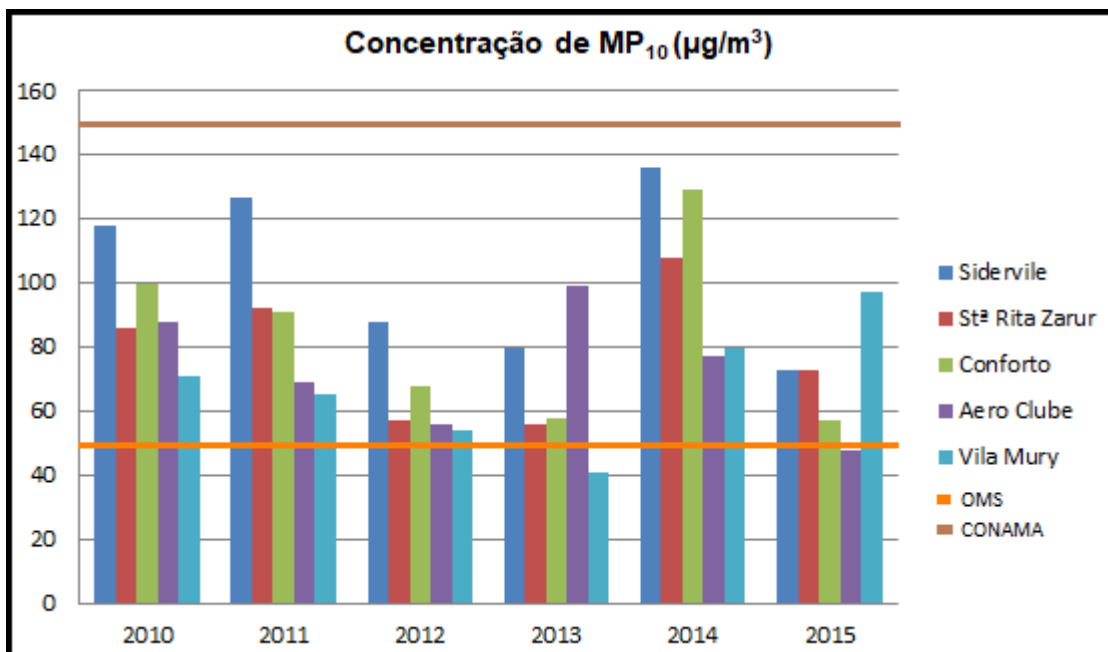


Figura 3 – Concentração de MP_{10} nas estações semiautomáticas para 24h

Fonte: Elaboração própria

4.1.2 EXPOSIÇÃO DE LONGO PERÍODO

Assim como aconteceu na análise de curto período, a concentração do material particulado MP_{10} anual foi superior ao valor referência da OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em todo o período analisado nas estações fixas, conforme mostra a figura 4.

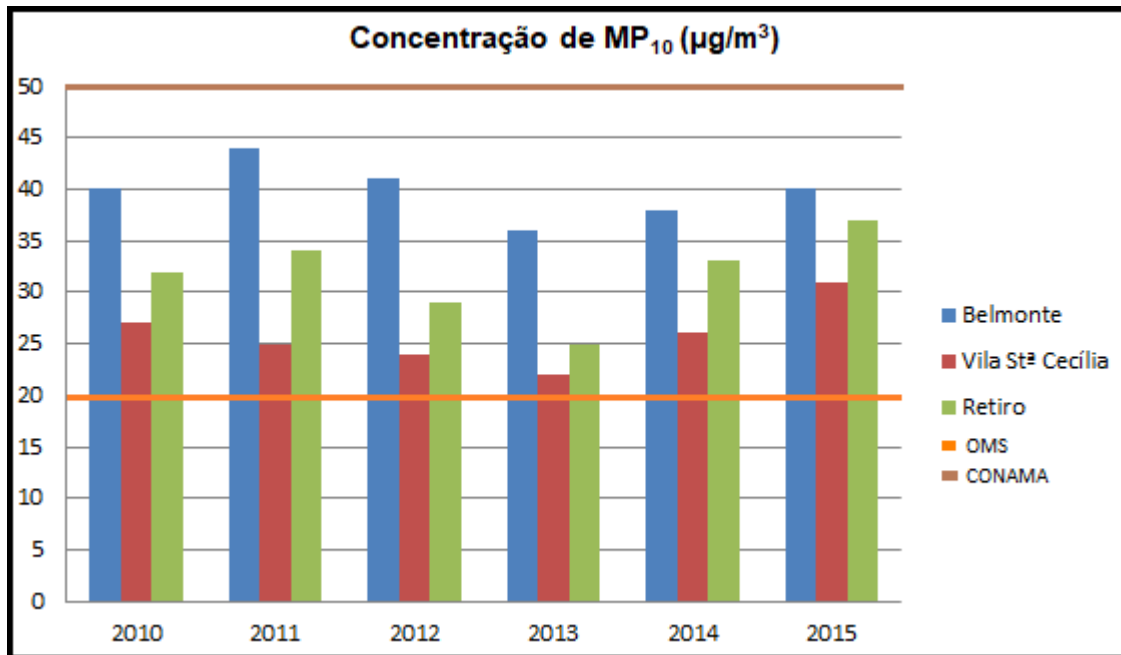


Figura 4 – Concentração anual de MP_{10} nas estações fixas

Fonte: Elaboração própria

E como também aconteceu no curto período, o padrão CONAMA ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) não foi violado ao longo destes seis anos. O destaque negativo ficou por conta do bairro Belmonte, que demonstrou ser o mais poluído dos três.

As estações semiautomáticas assim como no curto período apresentaram médias anuais preocupantes, nos seis anos analisados neste artigo todas as estações violaram o padrão da OMS. Entretanto, desta vez o valor referência da CONAMA também foi ultrapassado. No ano de 2011 a estação Siderville registrou $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e no ano de 2015 as estações Santa Rita do Zarur (ou Centro), Conforto e Siderville também violaram o padrão nacional, com destaque negativo mais uma vez para o bairro Siderville que registrou incríveis $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anuais. Conforme pode ser visto na figura 5.

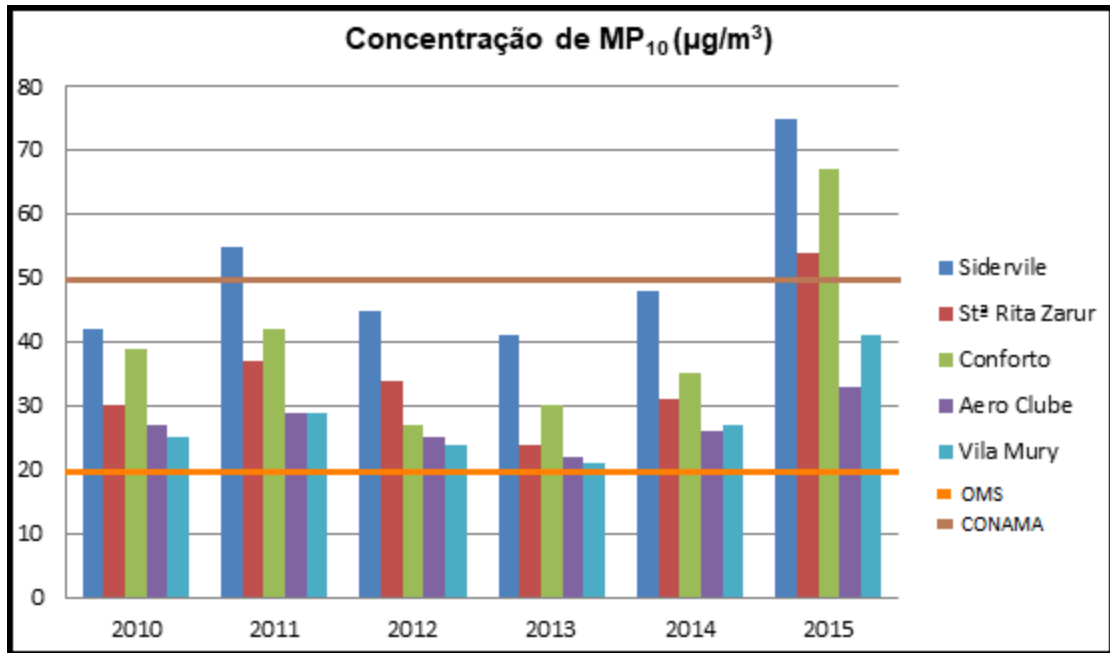


Figura 5 – Concentração anual de MP₁₀ nas estações semiautomáticas
 Fonte: Elaboração própria

Assim como no curto período, a OMS também possui valores interinos para a concentração anual do material particulado. O IT-1 corresponde a $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que equivaleria a um aumento associado na mortalidade a longo prazo de 15%, já o IT-2 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (igual ao CONAMA) consistiria além de outros benefícios a saúde uma redução de 6% nos óbitos em relação ao IT-1, e por fim o IT-3 a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reduziria em 6% a mortalidade em relação ao IT-2 (WHO, 2006).

4.2 NÍVEIS DE MATERIAL PARTICULADO MP_{2,5}

Como o Conselho Nacional do Meio Ambiente e o estado do Rio de Janeiro não possuem legislação que regule o material particulado MP_{2,5}, e como os dados das estações que o Instituto Estadual do Ambiente divulga (estações privadas) não foram são preparadas para o monitoramento deste poluente, estes dados não eram publicados. Entretanto, a partir de 2011 o INEA mobilizou uma estação própria para o bairro Volta Grande capaz de monitorar o MP_{2,5}. Esta estação, porém, disponibilizou dados apenas nos anos de 2011, 2012 e 2014.

No longo período, média anual, as máximas concentrações apresentadas pelo MP_{2,5} foram: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos anos de 2011, 2012 e 2014 respectivamente (em 2012 a estação não gerou um quantitativo de dados representativo estatisticamente, entre 50 e 75%). Sendo assim, apenas no ano de

2014 o padrão da OMS, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foi superado. E por fim, no período diário, em 2011 a concentração média foi de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em 2013 o valor chegou a $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (também não foi gerado quantitativo de dados representativo estatisticamente), e em 2014 ela atingiu $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Desta forma, o padrão diário recomendado pela OMS, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foi violado em dois dos três anos analisados.

O material particulado $\text{MP}_{2,5}$ também possui alvos interinos recomendados pela Organização Mundial da Saúde, como acontece com o MP_{10} . No padrão anual, o IT-1 é de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (corresponde a um aumento associado na mortalidade de 15%), já o IT-2 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (com redução na mortalidade em 6% relativamente ao IT-1), e o IT-3 vale $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (com redução na mortalidade em 6% relativamente ao IT-2). Logo, segundo os dados apresentados, Volta Redonda não violou nenhum alvo intermediário de $\text{MP}_{2,5}$.

Os alvos interinos no padrão diário são: IT-1 $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$, IT-2 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e IT-3 $37,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com aumentando na mortalidade diária de cerca de 5%, 2,5% e 1,2% respectivamente. Sendo assim, no ano de 2014 a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ na estação Volta Grande ($54 \mu\text{g}/\text{m}^3$) chegou a superar até o IT-2.

4.3 TECNOLOGIAS PARA O CONTROLE DO MATERIAL PARTICULADO

Como visto na seção 2.1, o material particulado está presente na natureza devido tanto a fontes naturais como antropogênicas. Quanto a primeira pouco pode ser feito, não muito mais do que um combate eficaz as queimadas. Entretanto, quanto às causadas pelo homem, algo pode e deve ser feito. Tanto catalisadores automotivos quanto precipitadores eletrostáticos poderiam contribuir para uma melhora nos níveis dos particulados.

A combustão catalítica constitui uma alternativa conveniente para reduzir as emissões de material particulado em baixas concentrações (como na queima de combustível automotivo). Eles consistem de uma peça com metais nobres localizada no sistema de escapamento. Entretanto, existem catalisadores feitos para indústrias, que apesar de não serem muito utilizados no Brasil eles já são empregados há décadas no exterior (RANGEL; CARVALHO, 2003).

O princípio de operação de um precipitador eletrostático consiste no fornecimento de carga elétrica a partícula, ele ocorre através da ionização do gás pelo efeito corona (descarga elétrica), e então as partículas carregadas são

submetidas a um campo elétrico de modo que sua velocidade de migração eletrostática cause a coleta desse material sobre uma placa aterrada, onde perdem suas cargas e a camada de pó formada é removida do sistema para descarte adequado. Comercialmente o precipitador é utilizado por quase um século para controlar as emissões de cinzas de caldeiras, incineradores e vários processos industriais, como a fabricação de cimento, cal, papel e processamento e produção de ácidos (MEIRA, 2009).

5 CONCLUSÃO

Após a realização deste artigo pode-se constatar que a qualidade do ar em Volta Redonda, um município altamente industrializado, foi analisada e discutida conforme os dados apresentados pelo Instituto Estadual do Ambiente para o poluente material particulado. Seus números seguem uma legislação com quase três décadas de defasagem, algo pouco recomendado uma vez que novos estudos sobre a poluição do ar e suas consequências são publicados todos os anos, trazendo ao conhecimento da comunidade científica novos desafios a serem enfrentados.

Uma análise comparativa dos defasados padrões nacionais de qualidade do ar com os valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde, que leva em consideração estudos mais atuais sobre a mortalidade associada ao material particulado, mostrou que Volta Redonda vem apresentando índices preocupantes de MP_{10} . Infelizmente, as partículas mais finas ($MP_{2,5}$) que são mais nocivas a saúde são as que possuem o monitoramento mais escasso.

Conciliar os confortos da vida moderna com um desenvolvimento sustentável é sem dúvida um dos grandes desafios do século 21. Soluções para se amenizar as altas concentrações de material particulado antropogênico poderiam ser implementadas, como uma maior fiscalização sobre os catalisadores automotivos e a utilização de precipitadores eletrostáticos por parte das indústrias. No entanto, com um monitoramento mais amplo, transparente e padrões mais atualizados, seria possível realizar estudos mais precisos, possibilitando entender melhor os males causados pela poluição e como minimizar seus efeitos.

REFERÊNCIAS

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 4ª ed.. Porto Alegre, Bookman, 2011.

CARMO, Cleber Nascimento do et al. **Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira**. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010.

CASTANHO, Andrea Dardes de Almeida. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. 1999. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAVANCANTI, P. P. S., **Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas**. Rio de Janeiro, UFRJ, 2012. 54 p.

CHITHRA, V. S. e SHIVA NAGENDRA, S. M. **Impact of outdoor meteorology on indoor PM10, PM2.5 and PM1 concentrations in a naturally ventilated classroom**. Urban Climat, 13 nov 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 5 de 15 de junho de 1989**. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**. Complementa a Resolução no 5/89. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar determinando as concentrações de poluentes atmosféricos.

FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente . **Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de duas campanhas expeditas de monitoramento realizadas em dez/95 a mai/96 e em abr/99 a mai/99**. Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1999.

FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR – 2007**. Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2007.

GIODA, A. et, al. **Diagnóstico da qualidade do ar em Volta Redonda-RJ a partir das análises do teor de BTX**. In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2000, Rio de Janeiro. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. v. 1. p. 2843-2848.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades - Volta Redonda** [online], 2016. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/volta-redonda>. Acessado em 23/06/2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório piloto com aplicação da metodologia IPPS ao Estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2008.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do Estado do Rio de Janeiro – Ano base 2010 e 2011**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2013.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2012**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2013**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2014**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2015**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2016.

MANTOVANELLI, Alessandra. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 51, 2002.

MASCARENHAS, Artur Fernando Silva et al. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 1, p. 61-68, 2004.

MEIRA, Camila Roberta de. **Desempenho de um precipitador eletrostático operando na remoção de nanopartículas de aerossóis**. 106 p. 2009. Dissertação de Mestrado. UFSCar, São Carlos.

PEREIRA, Marçal D. et al. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 3, p. 427-444, 2010.

PESTANO, A. F. **As faces da nuvem de poeira: Natureza em Cuba**. Revista Com Ciência Ambiental, São Paulo, ano 1, n. 4, p. 34-35, outubro 2006.

PROSPERO, J. M., BLADES, E., MATHISON, G., NAIDU, R. **Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust**. *Aerobiologia*, v. 20, n. 4, 2004.

QUEIROZ, Paula Guimarães Moura et al. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Quim. Nova**, v. 30, n. 5, p. 1233-1239, 2007. 2007.

RANGEL, M. D. C.; CARVALHO, M. F. A. **Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar**. *Quim. Nova*, Vol. 26, No. 2, 265-277, 2003.

REIS, M. M. D. **Poluição atmosférica e efeitos adversos na gravidez em um município industrializado no estado do Rio de Janeiro**. Tese (doutorado) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Departamento de Patologia. São Paulo 2009.

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 2ª ed. New Jersey, EUA, Wiley-Interscience, 2006.

SILVA, Ageo Mário Cândido da et al. Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, p. 337-351, 2010.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MARTINS, Luiz Alberto. 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, 2005.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. et al. **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/oQ9Yrs>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

WHO. World Health Organization. **Air Quality Guidelines - Global Update 2005**. Copenhagen: WHO, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/XQRNLZ>>. Acessado em: 09 jun. 2018.