

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

P. H. F. BRITO^{1*}, R. S. ARAÚJO², G. M. M. SILVA³
^{1,2,3}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
ph.fb.britol@gmail.com*

Submetido 27/05/2016 - Aceito 07/07/2018

DOI: 10.15628/holos.2018.4648

RESUMO

Nos últimos anos têm havido uma grande preocupação com os problemas de poluição do ar causados pelas atividades antrópicas, principalmente associados ao lançamento de compostos poluentes em concentrações que podem causar danos ambientais e risco à saúde. Com isso, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma revisão dos principais componentes inorgânicos presente na fração inalável do material particulado atmosférico. Neste contexto, os metais e

outros íons constituintes nessas frações podem agir no trato respiratório, promoverem um aumento de doenças carcinogênicas e/ou respiratórias. Conclui-se que, apesar do crescimento dos estudos de quantificação e qualificação da composição química do poluente e bem como a evidência dos efeitos dos componentes à saúde são necessários diversos estudos para caracterizar a qualidade do material particulado em uma determinada região.

PALAVRAS-CHAVE: Material particulado, fração inalável, composição química.

CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PARTICULATE MATTER: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

In recent years there has been a major concern about air pollution problems caused by human activities, especially associated with the release of polluting compounds in concentrations that can cause environmental damage and health risks. This article aims to present a review of the main inorganic components present in the inhalable fraction of atmospheric particulate matter. In this context, metals and other constituent ions in those fractions may act in the

respiratory tract, promoting an increase of carcinogenic and / or respiratory diseases. It is concluded that, despite the growth in quantification and qualification studies the chemical composition of pollutants as well as the evidence of the effects of those components to health quality, several studies are necessary to characterize the particulate's quality of matter in a particular region.

KEYWORDS: Particulate matter, inhalable fraction, chemical composition.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento do número de veículos automotores urbanos e as crescentes atividades industriais nos grandes centros urbanos e suas regiões metropolitanas, a contaminação do ar vem atingindo níveis alarmantes nestas regiões.

Muitos poluentes podem ser originados de fontes naturais, acumulando-se ao longo do tempo, porém os poluentes de origem antrópica estão presentes na atmosfera em grandes quantidades. Apesar dos ventos e correntes de ar dificultar o acúmulo das partículas poluidoras, a frequência de lançamentos acarreta problemas de poluição, principalmente em áreas industrializadas e com intenso tráfego de veículos (FU et al., 2013).

Cada vez mais as externalidades provenientes de um conjunto de atividades humanas na qual resultam em impactos negativos, provocam a diminuição da qualidade de vida em diferentes aspectos. A urbanização gera uma série de mudanças no estilo de vida das pessoas, criando hábitos que modificam drasticamente o ambiente. As alterações do ambiente, por sua vez, desencadeiam impactos sobre a saúde em todos os seus aspectos: físicos e psíquicos, global ou individualmente (VORMITTAG, 2014).

A Organização Mundial de Saúde - OMS publicou, em 2014, a perda precoce de cerca 7 milhões de vidas no mundo pela poluição do ar em 2012: 3,6 milhões devido à poluição do ar externa e 3,4 milhões devido à poluição intradomiciliar. Isto significa que uma em cada oito mortes no mundo está relacionada à exposição ao ar contaminado (WHO, 2014).

Sob a denominação geral de material particulado encontra-se um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (JUNIOR et al. 2013). A formação do material particulado é bastante complexa e envolve uma sequência de etapas reacionais (pirólise, nucleação, crescimento e coagulação, agregação e oxidação), podendo causar sérios danos à saúde humana (DE MENEZES et al., 2008).

O material particulado em suspensão apresenta em sua composição inúmeros compostos ou espécies químicas diferentes, tais como íons SO_4^{2-} , HSO_4^{2-} , NO^3 , NH^{4+} e H^+ , fuligem, compostos orgânicos, cinzas, partículas do solo, pólen e uma variedade de metais sob a forma de metais traço como, por exemplo, Pb, Hg, V, Cd, Cr, etc, e elementos da crosta tais como Fe, Ca, Si e Al (CETESB, 2008; QUEIROZ et al., 2007).

Tecnicamente, a poluição do ar, especialmente em ambientes urbanos, tem sido associada ao agravamento de doenças, cardiovasculares, respiratórias e neurológicas. No caso do material particulado, ao serem inaladas, as partículas são depositadas em diferentes regiões do trato respiratório, mas essas partículas possuem a capacidade de absorção e/ou adsorção elevada de inúmeros compostos orgânicos e inorgânicos. Com isso, se justifica a importância dos avanços nos estudos de caracterização química do material particulado atmosférico, a fim de enfatizar os níveis alarmantes desses poluentes para que possam ser conhecidos e monitorados constantemente pelas autoridades ambientais.

Desta forma, este artigo pretende estabelecer uma discussão sobre a distribuição dos principais constituintes inorgânicos (cátions metálicos e ânions associados) do material particulado fino oriundo da poluição atmosférica, obtendo com referências dados de artigos encontrados em bases científicas da literatura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma melhor fundamentação dos estudos de quantificação e caracterização composicional do material particulado inalável, torna-se fundamental o conhecimento enfático desse poluente atmosférico, suas fontes de poluição, seus efeitos, controle e as concentrações máximas permitidas pela legislação nacional e internacional, portanto, este artigo baseou-se nas bases científicas, no período entre 1976 e 2016. Somando-se todas as bases de dados, foram encontrados 1567 artigos. Foram selecionados 120 artigos para a leitura do resumo e excluídos os que não diziam respeito ao propósito deste estudo.

2.1 O sistema atmosférico

A atmosfera é determinada como uma delgada camada de ar que envolve o planeta Terra e é nela onde permanentemente ocorrem reações químicas. É formada por uma variedade de sólidos, gases e líquidos que podem se dispersar, reagir entre si ou com outras substâncias já presentes na mesma. Constitui dessa forma, o principal meio de transporte e depósito para os compostos orgânicos e inorgânicos emitidos por fontes naturais e/ou antrópicas (BAIRD; CANN, 2011; MARTINS et al., 2003; LOPES, 1996).

Os componentes principais de uma versão não poluída da atmosfera terrestre são o nitrogênio (N_2 , 78%), oxigênio (O_2 , cerca de 21%), argônio (Ar, cerca de 0,93%), e dióxido de carbono (CO_2 , cerca de 0,03%). Porém a atmosfera não é composta apenas por gases. Existe material sólido nela disperso, como poeira em suspensão, pólen, microorganismos, etc. Há ainda uma porção líquida dispersa, composta de gotículas resultantes da condensação do vapor d'água, na forma de nuvens, neblinas e chuvas. Contudo em termos de massa relativa, sem dúvida a principal parcela é a gasosa (BAIRD; CANN, 2011).

A classificação mais adequada para descrever a estrutura da atmosfera em camadas é em função da variação de temperatura com a altitude. Esses gradientes específicos de temperatura estão diretamente relacionados com as propriedades físicas e químicas apresentadas nessas camadas (BRAGA et al., 2005). Dentre as cinco camadas existentes, as mais significantes são: a troposfera, que se estende a partir da superfície terrestre até uma altitude de, aproximadamente, 11 km, seguida da estratosfera, até, aproximadamente, 50 km. A temperatura da troposfera varia de uma média de 15°C, ao nível do mar, a uma média de -56°C, no limite superior. A temperatura média da estratosfera, por sua vez, aumenta de -56°C, no limite com a troposfera, até -2°C na fronteira superior. A razão deste aumento é a absorção da energia solar ultravioleta pelo ozônio na estratosfera (MANAHAN, 2000).

A poluição do ar pode ser definida como o resultado da alteração das características físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera, que possa causar danos ao ser humano, à fauna, à flora e aos materiais. Além disso, restringir o pleno uso e gozo da propriedade do ar, ou

afetar negativamente o bem estar da população. Portanto a poluição do ar ocorre quando a alteração da composição química da atmosfera resulta em danos reais e potenciais.

Um poluente atmosférico é qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, poderá torná-la poluída. Os poluentes atmosféricos podem ser classificados inicialmente em função do seu estado físico, em dois grupos: os materiais particulados e os gases e vapores. Os poluentes ainda podem ser classificados de acordo com a sua origem e formação em: Primários e Secundários.

Os poluentes primários de acordo são os gases emitidos diretamente pelas fontes fixas (indústrias em geral, queimas ao ar livre, etc.) como o SO_2 , NO_2 e o CO . Os poluentes secundários são formados na atmosfera a partir de reações químicas estequiométricas ou por oxidação, como no caso da formação do H_2SO_4 e do O_3 (BAIRD; CANN, 2011).

2.2 Material particulado atmosférico

Dentre os poluentes atmosféricos mais comuns, o material particulado atmosférico (PM) é o mais intensamente investigado através de estudos epidemiológicos e toxicológicos. O material particulado é conhecido como uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, emitidas por processos naturais ou antropogênicos ou mesma aquelas formadas na atmosfera, formando assim, os aerossóis atmosféricos. O termo aerossol atmosférico difere de PM porque inclui também os componentes da fase gasosa do ar que estão em equilíbrio com a fase líquida presente na superfície do aerossol e a sua fase sólida central (BAIRD; CANN, 2011; PANDIS, 2006; VALLERO, 2008).

As partículas atmosféricas são discriminadas entre si, principalmente, pelo seu diâmetro aerodinâmico. Assim, diferenciam-se as em quatro classes, a saber: partículas grossas (< 2,5 - 10 μm), partículas finas (0,1-2,5 μm), partículas ultrafinas (0,01 - 0,1 μm) e nanopartículas (< 0,01 μm).

As partículas finas e ultrafinas são as mais difundidas na atmosfera quando comparadas com as partículas grossas (DIEME, 2011). Contextualmente houve um grande interesse no modo de formação dos aerossóis atmosféricos, Whitby et al. 1976, iniciou a representação das distribuições por tamanho em gráficos com eixos logarítmicos e introduziu os termos moda de nucleação (0,001 - 0,1 μm), moda de acumulação (0,1 - 1 μm) e moda grossa ou de sedimentação (> 1 μm), na tentativa de relacionar o tamanho das partículas com os correspondentes processos de formação. Assim, na moda de nucleação incluem-se os aerossóis que resultam da conversão gás-partícula, a moda de acumulação é formada por coagulação e condensação heterogênea e a moda de sedimentação engloba as partículas produzidas por processos mecânico.

2.2.1 Composição química

Com composição diversificada, o MP pode conter poeira mineral, metais, metalóides, sais marinhos, íons inorgânicos solúveis em água, como os íons Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , etc, compostos orgânicos como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), carbono elementar, etc (MURILLO *et al.*, 2013; ZHANG, F. *et al.*, 2013; DESHMUKH *et al.*, 2013; DAHER *et al.*, 2013; ANCELET *et al.*, 2013). A abundância relativa de íons inorgânicos solúveis desempenha um importante papel na determinação da higroscopicidade do material particulado atmosférico (DOMINGOS *et al.*, 2012). Os íons solúveis são associados à formação de partículas, crescimento,

processos de evolução, e podem servir como um indicador de substâncias em nível traço de reações nas superfícies das partículas (HAN *et al.*, 2014).

Há interações entre as substâncias presentes na atmosfera e o material particulado. As substâncias que se dissolvem no interior de uma partícula são absorvidas por ela; e aquelas que simplesmente aderem à sua superfície são adsorvidas. Exemplo deste último fenômeno é representado pela adsorção de moléculas orgânicas de grandes dimensões sobre partículas de carbono na forma de fuligem. Muitas substâncias insolúveis transportadas pelo ar encontram-se envolvidas por uma película de água, que pode, por sua vez, dissolver outras substâncias (BAIRD; CANN, 2011).

Segundo Wilson *et al.* (1997), no material particulado inalável grosso (MP₁₀) encontram-se predominantemente na composição: solo suspenso ou poeira de rua; cinzas de combustão incompleta de carvão, óleo e madeira; nitratos/cloretos/sulfatos de reações de HNO₃, HCl, SO₂, óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe), sais de CaCO₃, CaSO₄, NaCl, sal marinho; pólen, fungos, esporos de fungos; fragmentos de plantas e animais; desgaste de pneus e pavimentos de estradas

Na composição do material particulado inalável fino observa-se a predominância de: íons de sulfato, nitrato, amônio e hidrogênio; carbono elementar; grande variedade de compostos orgânicos; metais, compostos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc.

Finalmente, na composição do particulado ultrafino destacam-se: sulfatos; carbono elementar; compostos orgânicos com baixa pressão de vapor de saturação (WILSON *et al.* 1997).

Em termos observa-se a infinidade de compostos que são emitidos e liberados no ar, sendo as emissões por queima de combustíveis fósseis e biomassa, responsáveis por grande parte do material orgânico (MO), *black carbono* (BC) e metais presentes no aerossol das modas de nucleação e acumulação onde estão presentes em grande parte as nanopartículas (MARICQ, 2007).

2.2.2 Efeitos na saúde humana

A poluição atmosférica por material particulado é um tema que tem despertado interesse científico devido aos danos causados pelo aerossol atmosférico principalmente à saúde humana (MIRANTE *et al.*, 2013; AMIN *et al.*, 2012). Lançado em 2012, o Relatório: Perspectivas Ambientais para 2050: as Consequências da Inação, pela OECD - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (em inglês: Organization for Economic Co-operation and Development) aponta tendências e projeções sobre diversos aspectos, enfatiza que em relação à poluição atmosférica, se não houver a implementação de novas medidas ou políticas, a qualidade do ar continuará a se deteriorar globalmente e que, por volta de 2050, as doenças cardiorrespiratórias agravadas pela poluição por material particulado (PM) serão a principal causa de morte relacionada ao meio ambiente mundialmente, superando as mortes por malária, poluição indoor, consumo de água insalubre e falta saneamento básico (OECD, 2011).

O potencial em provocar efeitos adversos à saúde humana está diretamente relacionado ao tamanho da partícula. Assim quanto menor o tamanho da partícula, mais profundamente ocorrerá a deposição no sistema respiratório e conseqüentemente maior o impacto sobre a saúde. Os sistemas principalmente afetados são os sistemas cardiovascular e respiratório, no entanto existem estudos que associam efeitos no sistema reprodutivo, porém são de difícil

interpretação. Na Figura 1 podem ser observadas as áreas de deposição das partículas no sistema respiratório conforme o diâmetro aerodinâmico (D_a). A fração inalável é constituída por partículas com $D_a < 10 \mu\text{m}$, que se depositam principalmente no trato respiratório superior. A fração torácica inclui partículas com $D_a < 2,5 \mu\text{m}$, que penetram além da laringe. Finalmente, a fração respirável, com $D_a < 1 \mu\text{m}$, é capaz de alcançar os alvéolos pulmonares (FERNANDES *et al.*, 2010; KAMP *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2010).

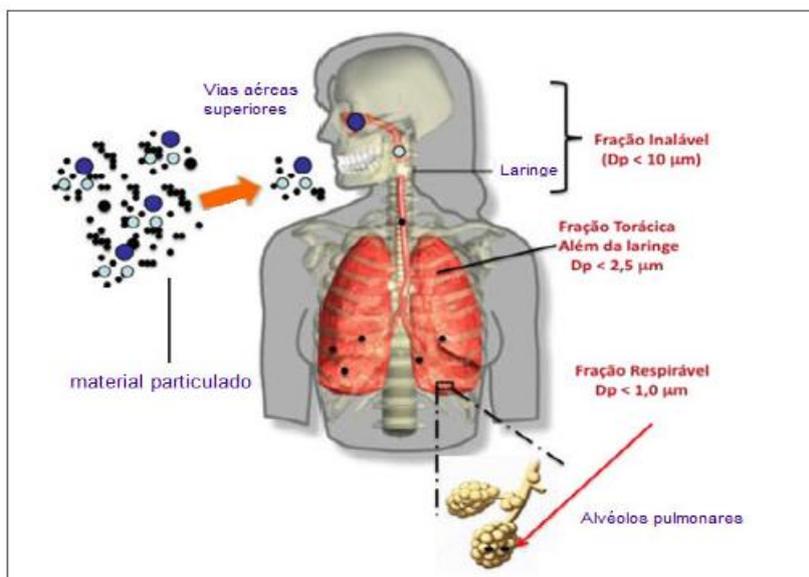


Figura 1 - Regiões de deposição do material particulado no trato respiratório (Guariero *et al.* (2011).

2.2.3 Legislação e monitoramento

No Brasil os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90. Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada (CETESB, 2011).

A Resolução CONAMA 03/90 em seu Artigo 2º e 3º classifica e define os padrões primários e secundários que devem ser atendidos para fins de saúde ambiental.

- Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;
- Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A legislação vigente do CONAMA (1990) mencionada, não considera os metais nem metalóides. Comparando-se as legislações de outros países, observa-se que os parâmetros considerados para avaliação da qualidade do ar em sua maioria são os mesmos, salvo algumas exceções. Isto se revela principalmente em se tratando de elementos traço como poluentes atmosféricos. Os países da União Europeia através da Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à qualidade do ar ambiente e um ar mais limpo na Europa,

consideram os seguintes poluentes: dióxido de enxofre; dióxido de nitrogênio; óxidos de nitrogênios; partículas em suspensão (MP₁₀ e MP_{2,5}); chumbo; benzeno; monóxido de carbono e ozônio. A Diretiva 2004/107/CE inclui arsênio; cádmio; níquel; mercúrio; benzo(a)pireno e outros hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Na Tabela 1 são mostrados os valores alvo e limiares superior e inferior para os elementos regulamentados pelas diretivas citadas.

Tabela 1 – Diretivas europeias para metais traços na atmosfera.

	Diretiva 2008/50/CE		Diretiva 2004/107/CE	
	Pb	As	Cd	Ni
Valor limite ou Valores alvo ⁽¹⁾	0,5 µg m ⁻³	6 ng m ⁻³	5 ng m ⁻³	20 ng m ⁻³
Limiar de avaliação superior	70 % do valor- limite (0,35 µg m ⁻³)	60 % (3,6 ng m ⁻³)	60 % (3 ng m ⁻³)	70 % (14 ng m ⁻³)
Limiar de avaliação inferior	50 % do valor- limite (0,25 µg m ⁻³)	40 % (2,4 ng m ⁻³)	40 % (2 ng m ⁻³)	50 % (10 ng m ⁻³)

⁽¹⁾ Para As, Cd e Ni considera-se o teor na fração MP₁₀ calculada como média durante um ano.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA (US EPA 2012) considera como poluentes tóxicos atmosféricos, os poluentes conhecidos ou suspeitos de serem carcinogênicos ou causadores de outros efeitos graves a saúde, como os efeitos reprodutivos ou má formação fetal, e ainda efeitos ambientais e ecológicos adversos. A EPA classifica 187 espécies diferentes como poluentes tóxicos atmosféricos, no entanto, 11 desses poluentes são metais ou metalóides: Sb, As, Be, Cd, Cr, Co, Pb, Mn, Hg, Ni e Se. Segundo a EPA (2008), os padrões nacionais de qualidade do ar (NAAQS) dos Estados Unidos, regulamenta dentre os elementos classificados como poluentes tóxicos atmosféricos a concentração para Pb como padrão primário e secundário, estabelecendo como média de três meses o nível de 0,15 µg m⁻³ o qual não deve ser ultrapassado.

2.3 Técnicas analíticas e estudos de determinação da composição inorgânica do material particulado

A composição química do material particulado tem sido obtida pela sua coleta sobre filtros, normalmente por um período de 24 horas, com posterior análise química em laboratório. A coleta e análise são processo completamente distintos um do outro (DIEME, 2011; KULKARNI *et al.*, 2011).

A análise química do material particulado é realizada com a finalidade de detectar a composição das partículas grossas e finas (CHEUNG *et al.*, 2011). A composição e abundância do MP variam de local para local. Em diferentes tipos de partículas são geralmente investigadas pelas técnicas analíticas a presença de componentes específicos nesse tipo de amostra tais como, metais, metalóides, cátions, ânions, compostos orgânicos, etc (ALMEIDA, 1999; WANG *et al.*, 2013).

Segundo UNEP/WHO (1994) uma variedade de técnicas analíticas espectroscópicas tem sido utilizada na determinação de elementos traço em amostras de material particulado

atmosférico. São elas: Espectrometria de absorção atômica (AAS), espectrometria de fluorescência atômica (AFS), espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES), espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), fluorescência de raios-X (XRF), análise por ativação de nêutrons (NAA) e emissão de raios-X por partículas induzidas (PIXE) e por fim, a cromatografia iônica (IC).

O princípio das técnicas espectroscópicas de análise baseia-se na medida da quantidade de radiação produzida ou absorvida pelas moléculas ou pelas espécies atômicas de interesse. Na espectroscopia atômica, para promover a etapa de atomização são empregados vários métodos, dentre eles, as chamas e atomizadores eletrotérmicos são amplamente utilizados em espectrometria de absorção atômica, enquanto que o plasma indutivamente acoplado é empregado em emissão óptica e em espectrometria de massa atômica (SKOOG *et al.*, 2006).

2.4 Monitoramento da composição do material particulado

O monitoramento da fração inorgânica associada ao material particulado é citado por diversos estudos científicos.

Zhou *et al.* (2014) estudaram metais traços associados ao material particulado na cidade de Ji'nan, leste da China. Os resultados de concentração para o PM_{2,5} foram de 130 µg/m³ e para os metais traços de 4,03 µg/m³ nas zonas industriais e 101 µg/m³ para o PM_{2,5} e 2,4 µg/m³ para os metais traços nas zonas urbanas.

Ait Bouh *et al.* (2010) realizaram um estudo comparativo entre os principais poluentes encontrados nos centros urbanos e industriais da cidade de Meknès, Marrocos, seu estudo enfatizou duas grandes avenidas da cidade que apresentaram a presença de metais na composição química do material particulado. Os níveis de Pb, Cd, Mn, Cr, Cu e Fe nas duas grandes avenidas estudadas da cidade foram de: 352 e 282 ng m⁻³; 32 e 56 ng m⁻³; 4280 e 3229 ng m⁻³; 1466 e 1291 ng m⁻³; 3379 e 1291 ng m⁻³, respectivamente. Adicionalmente na composição do material particulado coletado no centro industrial da cidade de Meknès foram quantificadas concentrações de 69 ng m⁻³ para o Pb, 17 ng m⁻³ para o Cd, 780 ng m⁻³ para o Mn, 263 ng m⁻³ para o Cu e 1224 ng m⁻³ para o Fe.

Liati *et al.* (2012) e Patel *et al.* (2012) observaram que o diesel é a principal fonte de metais como Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, V, Zn que frequentemente se associam ao MP. Gidney *et al.* (2010) estudaram a emissão da queima da gasolina como combustível e verificaram que a utilização desta gera um aumento na concentração de Sr, Cu, Mn na composição do MP, enquanto que a concentração de Fe, Ca, P, Zn, Mg são associadas ao uso de óleo lubrificante.

No Brasil, o interesse pelo estudo da composição presente no material particulado cresceu nos últimos anos quando diversos estudos científicos internacionais relataram a variedade de compostos que poderiam ser adsorvidos e/ou absorvidos por esses materiais.

Mendonça (2013) relatou a determinação dos elementos majoritários e minoritários nos materiais particulados coletados na estação da Lapa no centro da cidade de Salvador, Bahia. O autor encontrou entre os elementos traço minoritários as maiores concentrações médias para Hg, Ni, Pb, Sn e V, cujos valores no MP₁₀ foram, respectivamente de: 4,52; 4,53; 7,33; 4,41 e 5,68 ng m⁻³. Entre os elementos majoritários as maiores concentrações encontradas, foram para Ba,

Ca, Fe e Mg, cujos valores médios foram, respectivamente de: 587; 5260; 5190 e 1907 ng m⁻³. Para o material MP_{2,5} os níveis foram de: 165; 2759; 2101; 947 ng m⁻³.

Alves *et al.* (2015) encontraram concentrações entre 1,41 e 2,15 µg/m³ para material particulado fino e de 9,25 µg/m³ a 9,33 µg/m³ para material particulado grosso. Particularmente foram encontrados valores entre 0,10 e 1,01 µg/m³ de chumbo (Pb) no material particulado grosso.

Souza *et al.* (2014) realizaram estudos de caracterização química do aerossol coletado nos centros urbanos das cidades de São Paulo e Piracicaba. Os principais componentes encontrados apresentaram uma abundância no MP foram, respectivamente nas seguintes proporções: 12% para o NH₄⁺, 21% para o SO₄²⁻, 31% para o NO₃⁻ e 36% para outros íons e 34% para o NH₄⁺, 28% para o SO₄²⁻, 12% para NO₃⁻ e 26 % para outros íons, respectivamente.

No estado do Ceará, os trabalhos de monitoramento do material particulado são restritos. Lima (2015) monitorou a concentração de material particulado na cidade de Fortaleza e encontrou valores de PM_{2,5} entre 13,2 µg/m³ e 40,9 µg/m³ e de PM₁₀ entre 18,9 µg/m³ e 42,7 µg/m³. Azevedo (2014) monitorando metais em um trecho urbano da cidade de Fortaleza encontrou níveis médios de Fe, Zn, Pb e Cu entre 0,10 e 6,05 µg/m³. A autora relatou em três coletas valores de Pb acima de 1,5 µg/m³, valor limite estabelecido pela CETESB e em oito delas acima dos 0,50 µg/m³ estabelecidos pela EPA.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos apresentados, é evidente a necessidade do avanço de pesquisas e a disseminação do assunto entre os pesquisadores, autoridades e sociedade no Brasil. Com isso, através desta revisão foi constatado que é de extrema importância caracterizar o material particular atmosférico avaliar, a fim de quantificar e qualificar a qualidade do material inalado pela população.

Um dos parâmetros importantes a serem avaliados é a identificação dos compostos inorgânicos, para que possa se traçar estratégias eficientes para controle e diminuição dos fatores de risco a saúde respiratória da humanidade. Entre estas estratégias, a identificação da composição química se destaca principalmente em regiões de intensas atividades industriais e alto tráfego de veículos automotores onde o ar e o material particulado estão susceptíveis a contaminação por compostos orgânicos e inorgânicos.

Técnicas analíticas e espectroscópicas como cromatografia de íons e a espectroscopia de absorção atômica são muito eficazes para quantificação de metais traços e ânions na composição química do material particulado. Os principais componentes na composição do particulado mais identificados pela literatura foram os Pb, Cd, Mn, Cr, Cu e Fe, NH₄⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻.

A fim de contribuir com a elaboração de um inventário da composição química do material particulado, seria interessante o desenvolvimento de metodologias de análise na área química, bem como a elaboração de levantamentos de dados em amostras significativas para propor estudos estatísticos com relação aos poluentes mais comuns no país.

4 REFERÊNCIAS

- AIT BOUH, H., BENYAICH, F., BOUNAKHLA, M., NOACK, Y., ZAHRY, F., TAHRI, M. Characterisations de la matiere particulare atmospherique dans la ville de Meknes, *Physical and Chemical News*, v. 54 p. 47-54, 2010.
- ALMEIDA, I. T. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- ALVES, A.C. M., ROSA, P. F. R., AGUIAR, M. L. Determinação da concentração de chumbo (Pb) presente no material particulado fino (MP_{2,5}) e grosso (MP₁₀) da região central de Goiânia - Go. *Enciclopédia Biosfera*, v.11 n.21; p. 2563, 2015.
- AMIN, H., ATKINS, P. T., RUSSO, R. S., BROWN, A. W., SIVE, B., HALLAR, A. G., HARTZ, K. E. H. Effect of bark beetle infestation on secondary organic aerosol precursor emissions. *Environmental Science and Technology*, v. 46, p. 5696-5703, 2012.
- ANCELET, T., DAVY, P. K., TROMPETTER, W. J., MARKWITZ, A., WEATHERBURN, D. C. Carbonaceous aerosols in a Wood burning community in rural New Zealand. *Atmospheric Pollution Research*, v. 4, p. 245-249, 2013.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances & Disease Registry. Regulations and Advisories. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>. Acesso em: 10 de julho, 2015.
- AZEVEDO, J. A. H. Monitoramento atmosférico de material particulado, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais em um trecho urbano da cidade de Fortaleza. 2014. 99 f. Dissertação - Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BAIRD, C., CANN, M. *Química Ambiental*, 4ª ed., p. 50 Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., DE SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*, 2a Ed., p. 168-213, Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 003, de 28 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar para concentração de poluentes atmosféricos, e dá outras providências. *Diário Oficial da União. Poder Executivo*, de 28 ago. 1990.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2001.
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2011.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 005 de 15 de junho de 1989. 1989. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589>.
- CHEUNG, K., DAHER, N., KAM, W., SHAFER, M. M., NING, Z; SCHAUER, J. J., SIOUTAS, C. Spatial and temporal variation of chemical composition and mass closure of ambient coarse particulate matter (PM_{10-2.5}) in the Los Angeles area. *Atmospheric Environment*, v. 45, p. 2651-2662, 2011.
- DAHER, N., SALIBA, N. A., SHIHADDEH, A. L., JAAFAR, M., BAALBAKI, R., SIOUTAS, C. Chemical composition of size-resolved particulate matter at nearfreeway and urban background sites in the greater Beirut area. *Atmospheric Environment*, v. 80, p. 96-106, 2013.

- DE MENEZES, E. W., CATALUNÃ, R. Amostragem de material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor diesel sem a utilização de túnel de diluição. *Química Nova*, v. 31, n. 8, p. 2027-2030, 2008.
- DESHMUKH, D. K., DEB, M. K., SUZUKI, Y., KOUVARAKIS, G. N. Water-soluble ionic composition of PM_{2.5-10} and PM_{2.5} aerosols in the lower troposphere of an industrial city Raipur, the eastern central India. *Air Quality, Atmosphere and Health*, v. 6, p. 95-110, 2013.
- DIEME, D. Caractérisation physicochimique et étude des effets toxiques sur des cellules pulmonaires BEAS-2B des polluants particulaires de la ville de Dakar (Senegal). Thèse de doctorat - Unité de chimie environnementale, Université du Littoral Côte d'Opale, 2011.
- DIRECTIVA 2008/50/CE, DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 21 de Maio de 2008. Relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. Disponível em: <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=5&subpage=5>. Acesso em: 10 de julho, 2015.
- DOMINGOS, J. S. S., REGIS, A. C. D., SANTOS, J. V. S., DE ANDRADE, J. B., DA ROCHA, G. O. A comprehensive and suitable method for determining major ions from atmospheric particulate matter matrices. *Journal of Chromatography A*, v. 1266, p. 17-23, 2012.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulation – CFR 40.Part 53 to 60. Washington: US Government Printing Office, 1987.
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Ambient Air Quality Standards for Lead: Final Rule. 2008. Disponível em: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2008-11-12/html/E8-25654.htm>. Acesso em: 10 de julho, 2015.
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Integrated Science Assessment for Particulate Matter, 2009. Disponível em: <http://www.epa.gov/oar>. Acesso em 10 de julho, 2015.
- EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Toxic Air Pollutants. 2012. Disponível em: <http://www.epa.gov/oar/toxicair/newtoxics.html#what>. Acesso em: 10 de julho, 2015.
- FERNANDES, J. S., CARVALHO, A. M., CAMPOS, J. F., COSTA, L. O., FILHO, G. B. Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana. *Revista Médica de Minas Gerais*, v. 20, p. 92-101; 2010.
- FU, X; WANG, S., ZHAO, B., XING, J., CHENG, Z., LIU, H., HAO, J. Emission inventory of primary pollutants and chemical speciation in 2010 for the Yangtze River Delta region, China. *Atmospheric Environment*, v. 70, p.39-59, 2013.
- GIDNEY, J. T., TWIGG, M.V., KITTELSON, D.B. Effect of organometallic fuel additives on nanoparticle emissions from a gasoline passenger car. *Environmental Science & Technology*, v. 44, p. 2562-2569, 2010.
- GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. *Revista Virtual de Química*, v. 3, 2011.
- HAN, T., LIU, X., ZHANG, Y., GU, J., TIAN, H., ZENG, L., CHANG, S.T., CHENG, Y., LU, K., HU, M. Chemical characteristics of PM₁₀ during the summer in the megacity Guangzhou, China. *Atmospheric Research*, v. 137, p. 25-34, 2014.

- IARC - International Agency for Research on Cancer. Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Lyon: WHO, 2013.
- JUNIOR, A. M et al. Projeto de monitoramento da qualidade do ar em porto alegre, Porto Alegre: ISBN, 2013.
- KAMP, M., CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, v. 151, p. 362-367, 2008.
- KULKARNI, P., BARON, P. A., WILLEK, K. *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications*, 3^o Edition, p. 153-169, United States of America: John Wiley & Sons, 2011
- LIATI, A., EGGENSCHWILER, P. D., GUBLER, E. M., SCHREIBER, D., AGUIRRE, M. Investigation of diesel ash particulate matter: a scanning electron microscope and transmission electron microscope study. *Atmosphere Environmental*, v. 49, p. 391-402, 2012.
- LIMA, R. M. Avaliação da qualidade do ar em um trecho urbano da cidade de Fortaleza – Ceará. 109 f. Dissertação - Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2015.
- LOPES, W. A., DE ANDRANDE, J. B. Fontes, formação, reatividade e quantificação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) na atmosfera. *Química Nova*, v. 18, n 5, p. 497-516, 1996.
- LU, S., YAO, Z., CHEN, X., WU, M., SHENG, G., FU, J., DAILY, P. The relationship between physicochemical characterization and potential toxicity of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Shanghai atmosphere. *Atmospheric Environment*. v. 42, p. 7205–7214, 2008.
- MANAHAN, S. E. *Environmental Chemistry*, 7 ed, New York, CRC Press LLC, 2000.
- MARICQ, M. M. Chemical characterization of particulate emission from diesel engines: A review. *Journal Aerosol Science*, v. 38, p. 1079-1118, 2007.
- MARTINS, C. R. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola: Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/05/quimica_da_atmosfera.pdf> Acesso em: 14 novembro, 2015.
- MENDONÇA, R. B.S. Estudos de espécies metálicas associadas ao MP₁₀ e MP_{2,5} oriundos de emissões veiculares. 150f. Tese de Doutorado – Departameto de Química, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- MIRANTE, F; ALVES, C; PIO, C; PINDADO, O; PEREZ, R; REVUELTA, M. A; ARTIÑANO, B. Organic composition of size segregated atmospheric particulate matter, during Summer and winter sampling campaigns at representative sites in Madrid, Spain. *Atmospheric Research*, v. 132-133, p. 345-361, 2013.
- MURILLO, J. H; ROMAN, S. R; MARIN, J. F. R; RAMOS, A. C; JIMENEZ, S. B; GONZALEZ, B. C; BAUMGARDNER, D. G. Chemical characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2,5} in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. *Atmospheric Pollution Research*, v. 4, p. 181-190, 2013
- OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. *OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. OECD: 2011.

- PANDIS, S. N.; SEINFELD, J. H. Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2006.
- PATEL, M., AZANZA RICARDO, C.L., SCARDI, P., ASWATH, P.B. Morphology, structure and chemistry of extracted diesel sootpart I: transmission electron microscopy, Raman spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and synchrotron X-ray diffraction study. *Tribology International*, v52, p. 29-39, 2012.
- SKOOG, D. A., WEST, M.D., HOLLER, F.J., CROUCH, S.R. Fundamentos de Química Analítica, 8ª edição, Ed. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2006.
- SOUZA, P. A. de., MELLO, W. Z., MARIANI, R. L., SELLA, S. M. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). *Química Nova*, v. 33, n. 6, p.1247-1253, 2010.
- SOUZA, D. Z., VASCONCELLOS, P. C., LEE H., AURELA, M., SAARNIO, K., TEINILÄ, K., HILLAMO, R. Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ Collected at Urban Sites in Brazil, *Aerosol and Air Quality Research*, v.14 p.168–176, 2014.
- QUEIROZ, P. G. M., JACOMINO, V. M. F., MENEZES, M. A. B. C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p.1233-1239, 2007.
- UNEP - United Nations Environment Programme. Environmental Data Report 1993-94. Oxford: UNEP, 1994.
- VALLERO, D. A. Fundamentals of Air Pollution. Academic Press, Fourth Edition, ISBN: 978-0-12-373615-4, 2008.
- VORMITTAG, E. M. P. A. A. et al. Avaliação dos impactos da poluição atmosférica no Estado do Rio de Janeiro sob a visão da saúde. São Paulo. Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/oQ9Yrs>>. Acesso em: 10 novembro, 2014.
- WANG, X., WANG, W., XUE, L., GAO, X., NIE, W., YU, Y., ZHOU, Y., YANG, L., ZHANG, Q., WANG, T. Size-resolved aerosol ionic composition and secondary formation at Mount Heng in South Central China. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, v. 7, p. 815-826, 2013.
- WILSON, W. E., SUH, H. H. Fine and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *JAWMA*, v47, p.1238-1249, 1997.
- WHITBY, K. T. E. T., CANTRELL B. K. Atmospheric aerosols: characteristics and measurement. International Conference on Environmental Sensing and Assessment (ICESA), Institute of Electrical and Electronic Engineers. Paper 29-1, p6, 1976.
- WHO - World Health Organization. 7 million premature death annually linked to air pollution. Geneva: WHO, 2014.
- ZHANG, R., SARWAR, G., FUNG, J. C. H., LAU, A. K. H. Role of photoexcited nitrogen dioxide chemistry on ozone formation and emission control strategy over the Pearl River Delta, China. *Atmospheric Research*, v.132-133, p. 332-344, 2013.
- ZHOU, S., YUAN, Q., LI, W., LU, Y., ZHANG, Y., WANG, W. Trace metals in atmospheric fine particles in one industrial urban city: Spatial variations, sources, and health implications, *Journal of Environmental Sciences*, v. 26, p. 205 – 213, 2014.