

Enferm Bras 2019;18(5);639-49
<https://doi.org/10.33233/eb.v18i5.2715>

ARTIGO ORIGINAL

Exposição de crianças ao material particulado atmosférico inalável em duas escolas na região Amazônica do Brasil e associações com a saúde

Marina Smidt Celere Meschede, D.Sc.*, Bernardino Ribeiro Figueiredo**

**Enfermeira, Docente no Instituto de Saúde Coletiva da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), **Geólogo, Docente no departamento de Geologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)*

Recebido em 27 de dezembro de 2018; aceito em 27 de agosto de 2019.

Correspondência: Marina Smidt Celere Meschede, Instituto de Saúde Coletiva, Av. Mendonça Furtado (Campus Amazônia) 2º andar, 68040-050 Santarém PA

Marina Smidt Celere Meschede: marcelere@yahoo.com.br
Bernardino Ribeiro Figueiredo: bernafigueiredo@yahoo.com.br

Trabalho resultante da tese de doutorado intitulada “Implicações para a saúde de escolares a partir do consumo de água e material particulado atmosférico inalado em escolas de Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia”, defendida em maio de 2018 pelo Programa de Pós-Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento da Universidade Federal do Oeste do Pará

Resumo

O objetivo deste estudo foi verificar a exposição de crianças ao Material Particulado Atmosférico (MPA) em duas escolas na Amazônia, uma em Santarém e a outra em Mojuí dos Campos, durante as estações seca e chuvosa entre 2015 e 2016. Os métodos analíticos incluíram análise gravimétrica, avaliação de íons solúveis e de elementos traço. A concentração mássica média diária foi maior durante a estação seca (55,28 a 76,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas grossas e 8,10 a 20,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas finas), quando comparada com a estação chuvosa (26,08 a 31,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas grossas e 0,11 a 2,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas finas). Análises químicas evidenciaram baixas concentrações de compostos solúveis ($\leq 0,54 \text{ mg}/\text{m}^3$) com a predominância de Cl^- e NO_3^- e as análises de elementos traço mostraram que os compostos de maior abundância nas partículas grossas foram elementos terrígenos como Ca, Na, Mg e nas finas houve a predominância de SO_4^{2-} , NH_4^+ e de K. Conclui-se que as crianças estão expostas a uma maior concentração de poluentes atmosféricos durante a estação seca, predominantemente às partículas grossas, com abundância de compostos químicos que se relacionam a ressuspensão de poeiras do solo e que podem ser associadas a implicações respiratórias menos graves, como aquelas de vias aéreas superiores.

Palavras-chave: poluição do ar, material particulado, ecossistema amazônico.

Abstract

Exposure of children to inhalable atmospheric particulate matter in two schools in the Amazon region, Brazil, and associations with health

The objective of this study was to verify the exposure of children to atmospheric particulate matter (PM) in two schools in the Amazon, in Santarém and other in Mojuí dos Campos, during the dry and rainy seasons between 2015 and 2016. The analytical methods included gravimetric analysis, evaluation of soluble ions and trace elements. The mean daily mass concentration was higher in the dry season (55.28 to 76.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for coarse particles and 8.10 to 20.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for fine particles), when compared to (26.08 to 31.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for coarse particles and 0.11 to 2.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for fine particles). Chemical analysis revealed low concentrations of soluble compounds ($\leq 0.54 \text{ mg}/\text{m}^3$) with the predominance of Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} e Na^+ and analysis of trace elements showed that the compounds of greatest abundance in the coarse particles were terrigenous elements such as Ca, Na and Mg in the fine SO_4^{2-} , NH_4^+ and K. The children are exposed to a higher concentration of pollutants atmospheric conditions during the dry season, predominantly to the

coarse particles, with abundance of chemical compounds related to resuspension of soil dust and could be associated to less severe respiratory disorders such as those of the upper airways.

Key-words: air pollution, particulate matter, amazon ecosystem.

Resumen

Exposición de niños a Partículas Atmosféricas Inhaladas en dos escuelas de la región amazónica, Brasil, y asociaciones de salud

El objetivo de este estudio fue verificar la exposición de los niños a las Partículas Atmosféricas Inhaladas (PAI) en dos escuelas en la Amazonia, una en Santarém y la otra en Mojuí dos Campos, durante las estaciones seca y lluviosa de 2015 a 2016. Los métodos analíticos incluyeron análisis gravimétrico de iones solubles y oligoelementos. La concentración de masa diaria promedio fue mayor durante la estación seca (55.28 a 76.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas gruesas y 8.10 a 20.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas finas) en comparación con la estación lluviosa (26,08 a 31.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas gruesas y 0.11 a 2.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para partículas finas). Los análisis químicos mostraron bajas concentraciones de compuestos solubles ($\leq 0,54 \text{ mg}/\text{m}^3$) con predominio de Cl^- y NO_3^- y los análisis de elementos traza mostraron que los compuestos más abundantes en partículas gruesas eran elementos terrigenicos como Ca, Na, Mg y en los finos hubo un predominio de SO_4^{2-} , NH_4^+ y K. Se concluye que los niños están expuestos a una mayor concentración de contaminantes atmosféricos durante la estación seca, predominantemente a partículas gruesas, con abundancia de compuestos químicos relacionados con resuspensión del polvo del suelo y que puede estar asociado con implicaciones respiratorias menos graves, como las de las vías respiratorias superiores.

Palabras-clave: contaminación del aire, material particulado, ecosistema amazónico.

Introdução

O Material Particulado Atmosférico (MPA) é composto por partículas sólidas e líquidas de tamanhos variados, suspensas no ar que podem ser emitidas a partir de várias fontes como as poeiras das ruas, emissões vulcânicas, aerossóis marinhos, queima de combustível fósseis e a partir das queimadas florestais [1]. As frações inaláveis do MPA constituem as partículas grossas com diâmetro maior que 2,5 μm até 10 μm e são normalmente formadas devido a ressuspensão de poeiras do solo, as partículas finas, com diâmetro menor 2,5 μm e as ultrafinas que são menores que 0,1 μm , predominantemente derivadas da combustão de combustíveis fósseis e das queimadas florestais [2]. As partículas de diferentes tamanhos poderão apresentar em sua composição compostos de espécies químicas diferentes, como íons de sulfato, nitrato, metais na forma de elementos traços como chumbo e cádmio, sais marinhos, pólen e elementos da crosta como ferro, cálcio e alumínio [3].

A relação entre qualidade do ar e saúde vem sendo estudada a partir de pesquisas epidemiológicas e toxicológicas desenvolvidas ao redor do mundo [4,5]. A atenção deve-se ao fato da exposição ao MPA inalável determinar quadros importantes de morbidade e mortalidade em populações. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), uma em cada nove mortes no mundo é resultante dos efeitos da poluição atmosférica e estima-se que 3 milhões de mortes ocorrem anualmente em decorrência da exposição aos contaminantes presentes no ar, e os grupos mais suscetíveis aos efeitos adversos em saúde são os extremos de idade como idosos e as crianças [6].

No Brasil, os dados disponíveis sobre qualidade do ar e efeitos em saúde são escassos. O Ministério do Meio Ambiente publicou em 2014 o "1º Diagnóstico de Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil" e, a partir dele, verificou-se que o monitoramento da qualidade do ar no Brasil ainda é muito restrito e incipiente em termos de coleta amostral, cobertura territorial, parâmetros monitorados e representatividade nas medições [7], o que dificulta associações com quadros de adoecimentos e mortalidade devido a exposição à poluição atmosférica.

A poluição atmosférica na Amazônia possui características distintas de grandes centros urbanos brasileiros. Na Amazônia a principal fonte poluidora é o desmatamento, enquanto que em grandes centros urbanos a poluição do ar associa-se principalmente com a queima de combustíveis fósseis. O MPA é o principal composto emitido pelas duas fontes, entretanto apresenta características químicas diferentes de uma região para a outra [8]. Alguns estudos vêm sendo realizados na região Amazônica e têm mostrado efeitos adversos à saúde decorrentes da exposição ao MPA advindos da queima de biomassa florestal. Esses estudos concentram-se em locais da Amazônia com intensa atividade antrópica, como aqueles localizados no Arco do Desmatamento, ao sul do bioma Amazônico. As pesquisas mostram

aumento nos atendimentos de emergência, consultas ambulatoriais e internações hospitalares, bem como uma diminuição do pico de fluxo expiratório e o aumento na frequência de micronúcleos em células epiteliais orais em crianças e idosos expostos a concentrações elevadas de MPA em municípios como Alta Floresta e Tangará da Serra, localizados ao norte do estado do Mato Grosso [9-11].

Diante da necessidade de ampliar as discussões e o conhecimento sobre a relação entre MPA e a saúde humana em outras regiões da Amazônia, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a exposição ao MPA por crianças em duas escolas, sendo uma no município urbano de Santarém e a outra no município rural de Mojuí dos Campos, a partir da sua determinação experimental da concentração mássica e da composição química inorgânica. Os resultados obtidos por este estudo são inéditos nessas localidades, e auxiliarão ampliar os conhecimentos sobre a composição mássica e química da atmosfera e os efeitos adversos em saúde que podem estar associados a sua exposição.

Material e métodos

Local de estudo

Trata-se de um estudo experimental descritivo conduzido em duas escolas na região Amazônica, uma localizada na cidade de Santarém (S 02° 26' 35" W 54 42 30) e a outra na cidade de Mojuí dos Campos (S 02 40 55 W 54 38 32) (Figura 1). A região dos municípios apresenta clima tropical úmido e a sazonalidade climática é marcada por dois períodos (i) o período de seca (julho a novembro) e (ii) período chuvoso (dezembro a maio), o mês de junho pode ser considerado como de transição [12].

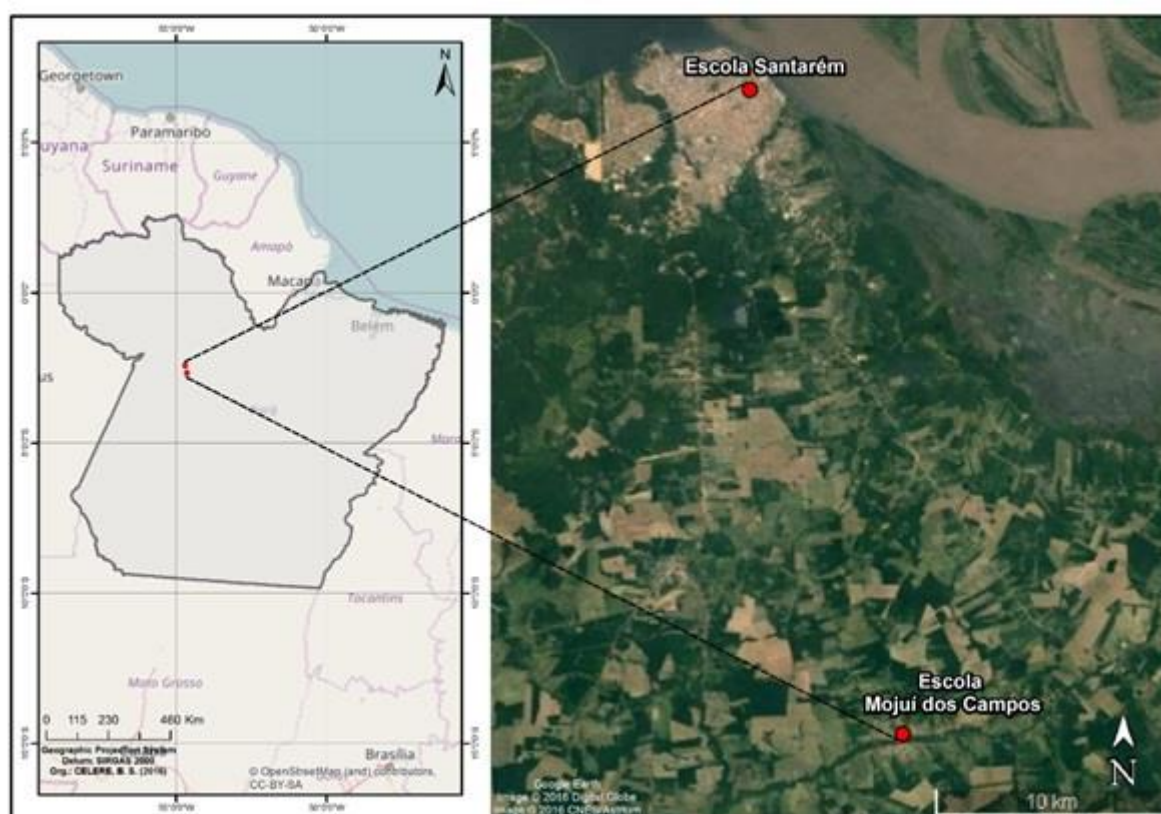


Figura 1 - Pontos de localização para coleta das amostras de MPA nas escolas de Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Santarém e Mojuí dos Campos localizam-se no Oeste do Pará, região que vem se destacando no avanço de fronteiras agrícolas, principalmente do cultivo da soja, e na instalação de obras de infraestrutura como portos, pavimentação de vias já existentes, com grande ênfase na região da BR-163 e na bacia do Rio Tapajós. Em cada município selecionou-se uma escola pública municipal de ensino fundamental denominada para este trabalho de “escola Santarém”

e “escola Mojuí dos Campos”. O critério de seleção das escolas deu-se pela localização mais a Leste de cada município, visando evitar interferências da pluma da cidade na coleta de MPA, uma vez que a direção do vento na região é predominantemente vinda de Leste [13] e, também, a escola que tivesse o maior número de alunos matriculados de ensino fundamental.

Amostragem do MPA

Para a coleta de amostras do MPA utilizou-se um Impactador de Cascata de oito estágios em que o ar entra no equipamento através de uma bomba de sucção a vácuo com vazão constante de 28,3 l/min, a um sistema de fluxo controlado e constante a partir de um orifício circular e atravessa diferentes estágios, totalizando nove estágios de coleta. As partículas de MPA de menor porte aerodinâmico passam por inércia para os estágios mais profundos e as maiores ficam retidas nos primeiros estágios do equipamento.

O equipamento foi posicionado dentro das escolas, em ambientes externos as salas de aula, protegidos da chuva e do sol. O meio filtrante utilizado foi o filtro de fibra de quartzo modelo QMA8X10IN (marca Whatman®) previamente calcinados em mufla por 5 horas a 500 °C. A coleta foi realizada por um período de 7 dias consecutivos, de forma intermitente. A primeira coleta ocorreu na escola Santarém durante a estação seca no período de 21 a 28/09/2015, após esse período de 7 dias os filtros foram trocados do equipamento e substituídos por novos e a segunda coleta durante a estação seca na mesma escola ocorreu de 28 a 05/10/2015. Na escola Mojuí dos Campos, a primeira coleta ocorreu durante a estação seca de 12 a 19/10/2015 e após a troca dos filtros, a segunda ocorreu de 19 a 26/10/2015, durante a estação chuvosa.

Durante a estação seca optou-se por realizar em cada escola, duas coletas de MPA de sete dias cada. Na primeira coleta, os filtros foram destinados para análise química de elementos traço por Espectrômetro de Massa por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) e a segunda coleta os filtros foram destinados para análise química de íons solúveis por Cromatografia Iônica (CI).

Durante o período chuvoso, optou-se em realizar apenas uma coleta de MPA para análise de elementos traço por ICP-MS. O motivo pelo qual a análise por CI não foi realizada para o período chuvoso, foi considerando que durante esse período existe uma tendência de diminuição de todas as concentrações de MPA evidenciado na literatura e dessa forma o ponto mais crítico, considerado para a saúde humana, é durante a estação seca. Dessa forma, durante o período chuvoso, a coleta na escola Santarém ocorreu do dia 07 a 14/03/2016 e na escola Mojuí dos Campos ocorreu de 16 a 23/03/2016.

Metodologia analítica

Análise gravimétrica

A quantificação da massa do MPA retida nos filtros foi realizada utilizando-se a análise gravimétrica. Essa análise consistiu em pesar todos os filtros antes e depois da amostragem em uma balança Sartorius CP225D, com precisão de 0,01 mg, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa. Cada filtro foi pesado três vezes, posteriormente foi obtido um valor médio dos três valores. Ressalta-se que, para controle de qualidade dos processos analíticos, foram utilizados filtros brancos, levados a campo e que passaram pelos mesmos procedimentos que os demais amostrados. Cada coleta resultou em nove filtros (desde o filtro que foi colocado no estágio nº 0 ao estágio nº 7 e mais o filtro acoplado na posição *Back up*). Os nove filtros foram separados em dois grupos, um grupo reuniu os filtros dos estágios de nº 0 ao nº 4 (totalizando cinco filtros) correspondente ao intervalo granulométrico de 10 µm até 2,1 µm (considerou-se como fração grossa do MPA), e um outro grupo reuniu os filtros dos estágios de nº 05 ao *Back up* (totalizando quatro filtros) correspondente ao intervalo granulométrico de 2,1 µm até 0,43 µm (considerou-se como a fração fina do MPA). Para se obter as concentrações mássicas em µg/m³, utilizou-se uma planilha de amostragem no Excel, na qual foram inseridas as massas em gramas iniciais e finais de cada filtro. Posteriormente a massa em gramas obtida de cada fração (fina e grossa) foi dividida pela vazão total de ar durante a coleta de 0,0283 m³ e multiplicado por 106. Dessa forma obteve-se a concentração mássica de MPA em µg/m³ correspondente para cada fração fina e grossa.

Análise das fases solúveis e elementos traço

Os filtros foram recortados em pedaços menores e acondicionados em tubos de centrífuga de 50 ml aos quais adicionou-se 15 ml de água Milli-Q para análise da fração solúvel. Uma vez concluída a etapa anterior, os tubos foram colocados sob agitação mecânica durante 5 horas a 115 rpm, a temperatura ambiente, visando à solubilização dos compostos químicos presentes no MPA. A solução obtida foi filtrada com filtros de seringa Millipore 0,22 µm com membrana hidrofílica. O filtrado foi analisado por CI, marca Dionex/Thermo Scientific, modelo ICS-2500. Para controle de qualidade analítica também foram analisados os filtros brancos, sendo os resultados obtidos, posteriormente, subtraídos dos valores de concentração nas amostras. Foram analisados os ânions fluoreto (F⁻), cloreto (Cl⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻) e brometo (Br⁻); e os cátions amônio (NH₄⁺); sódio (Na⁺); lítio (Li⁺); potássio (K⁺); magnésio (Mg²⁺) e cálcio (Ca²⁺) do MPA coletado durante a estação seca. Os limites de detecção do método foram em mg.l: de 0,001 para F⁻; 0,015 para Cl⁻; 0,005 para NO₂⁻ e Br⁻; 0,003 para NO₃⁻; 0,01 para SO₄²⁻; 0,02 para o NH₄⁺ e Na⁺; 0,004 para Li⁺; 0,05 para K⁺ e Ca²⁺ e 0,03 para Mg²⁺

Para a análise de elementos traço, os filtros coletados para esse fim foram recortados em pedaços e colocados em tubos de centrífuga de 50 ml, aos quais foi adicionado 15 ml de uma solução de ácido nítrico (HNO₃) a 1% para extração parcial de elementos traço. Após os tubos permanecerem durante 5 horas em um agitador mecânico à 115 rpm, à temperatura ambiente, visando a máxima interação do ácido com as partículas retidas no filtro. Os extratos foram filtrados com filtros Millipore de 0,22 µm de tamanho do poro. Na sequência, o filtrado foi transferido para tubos de centrífuga de 10 ml para a realização da análise por ICP-MS em sala limpa. Para controle de qualidade analítica também foram analisados os filtros brancos, sendo os resultados obtidos no branco, posteriormente, subtraídos dos valores de concentração das amostras. A análise do MPA pelo ICP-MS permitiu medir a concentração de 56 elementos traço. A partir das concentrações obtidas das amostras de MPA (fração grossa e fina), foram escolhidos os elementos alumínio (Al), cálcio (Ca), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), ferro (Fe), magnésio (Mg), níquel (Ni), potássio (K) e sódio (Na) para serem apresentados e discutidos neste trabalho. O limite de detecção do método para esses elementos traço foram em ng.ml⁻¹: 0,4 para Al; 0,0005 para Ca; 0,004 para Cd; 0,002 para Pb; 0,05 para Cu; 1,6 para Fe; 0,2 para Mg; 0,04 para Ni; 47 para K e 2,0 para Na.

Resultados e discussão

Concentração mássica de partículas atmosféricas nas escolas

Na Tabela I são apresentados os resultados das concentrações mássicas de MPA nas escolas. A concentração mássica da fração grossa e fina do MPA coletado, durante a estação seca, foi substancialmente maior do que as concentrações obtidas durante a estação chuvosa. Os achados foram esperados, uma vez que, durante a estação chuvosa, a atmosfera apresenta-se mais limpa devido à ausência quase completa de queimadas e diminuição da ressuspensão de poeiras do solo devido à sua umidade. O MPA coletado na escola Santarém atingiu, durante a estação seca e chuvosa, uma concentração mássica maior da fração grossa quando comparado com os resultados obtidos na escola Mojuí dos Campos. A ressuspensão de poeiras do solo devido a ruas não asfaltadas nas proximidades da escola Santarém pode ser um fator contribuinte nesse achado. Por outro lado, a escola Mojuí dos Campos apresentou concentrações mais elevadas da fração fina durante as duas coletas realizadas na estação seca, indicando a influência de queimadas provenientes das atividades agrícolas que ocorrem durante a estação seca no município de Mojuí dos Campos.

As concentrações mássicas de MPA nas frações grossa e fina encontradas para o presente estudo são inferiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto Estadual de São Paulo nº 59.113 [14] em ambas as escolas e períodos de coleta. O referido Decreto é o primeiro a nível nacional e estabelece novos padrões de qualidade do ar baseando-se em valores-guia publicados pela OMS (2005) para poluentes atmosféricos visando à proteção da saúde da população [1].

Tabela I - Concentrações mássicas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de MPA fração grossa e fina na escola Santarém e Mojuí dos Campos durante as estações seca e chuvosa de cada coleta, Pará, Amazônia.

Local de coleta	Período de coleta	Fração grossa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fração fina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Estação seca			
Escola Santarém	21/09/15 a 28/09/15	55,28	8,10
	28/09/15 a 05/10/15	76,30	10,84
Escola Mojuí dos Campos	12/10/15 a 19/10/15	67,27	20,85
	19/10/15 a 26/10/15	59,86	18,92
Estação chuvosa			
Escola Santarém	07/03/16 a 14/03/16	31,90	2,05
Escola Mojuí dos Campos	16/03/16 a 23/03/16	26,08	0,11

Os valores da OMS ainda são mais restritivos que o Decreto, dessa forma, as concentrações do presente estudo em relação à fração grossa do MPA, na estação seca, excedem o limite máximo da OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para ambas as escolas. Durante a estação chuvosa, todos os valores encontrados apresentaram-se abaixo do recomendado pelo Decreto e pela OMS (2005). Ressalta-se que o Decreto de São Paulo [14] e o da OMS [1] apresentam metodologias diferentes do presente estudo quanto ao período de coleta do MPA. A diferença está no fato de que o Decreto de SP e o da OMS definem padrões de qualidade do ar para amostras coletadas em 24 horas e, no presente estudo, esses valores foram obtidos por um período de sete dias.

A concentração de partículas grossas, embora tenha se apresentado em concentrações mais altas nas escolas, ao serem inaladas, tendem a se depositar nas vias aéreas superiores humanas e, normalmente, não são associadas a taxas expressivas de morbidade e mortalidade na população, mesmo em grupos vulneráveis como as crianças [15]. As implicações mais severas em saúde de escolares ocorreriam se houvesse um excesso de partículas mais finas nas escolas, fato que não foi observado no presente estudo.

As concentrações mássicas obtidas para o presente estudo foram superiores aos valores encontrados por outros estudos em áreas mais preservadas da Amazônia. No trabalho de revisão de Gonçalves e Figueiredo [16], na região Amazônica, as áreas mais preservadas, localizadas mais ao norte e oeste da bacia (ex. região de Balbina, reserva florestal Adolpho Ducke e outras), as concentrações de MPA apresentam-se com valores médios no período chuvoso nos intervalos $5,8$ - $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração grossa e $1,6$ - $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a fração fina. No estudo de Gonçalves *et al.* [16] em uma região próxima ao município de Alenquer (Amazônia), localizada a uma distância aproximada de 55 km de Santarém, os autores observaram uma concentração média de partículas totais em suspensão de MPA de $31 \pm 7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a estação seca, e concentrações ainda menores obtidas durante a estação chuvosa, de $14 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por outro lado, os valores obtidos de concentrações mássicas no presente estudo são menores quando comparados com áreas de intensa atividade antrópica como aquelas de expansão agrícola, localizadas no Arco do Desmatamento, Sul da Amazônia. Artaxo *et al.* [17] encontraram no município de Alta Floresta (estado do Mato Grosso, Sul da Amazônia) concentração média para a fração grossa do MPA entre 400 - $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a estação seca.

Nas regiões com intensa atividade antrópica (ao sul do bioma Amazônico), alguns estudos vêm sendo desenvolvidos e relacionam a concentração mássica do MPA e efeitos em saúde. Os trabalhos investigam sobre a exposição a níveis excessivos de MPA e o aumento do número de admissões hospitalares e em unidades de emergência devido à morbidade por doenças respiratórias [10,18]. Ignotti *et al.* [19] reportaram que no município de Alta Floresta/MT foram observadas associações significativas entre a exposição ao MPA fino, com concentração média diária de $44,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e um aumento considerável nas admissões hospitalares por crianças e idosos durante a estação seca do ano de 2010. Em outro estudo, Jacobson [20] apontou sinais subclínicos importantes em escolares de seis a oito anos expostos durante o período escolar a concentrações da fração fina do MPA (concentração média em 24 horas de $24,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em uma região localizada ao sul da floresta amazônica.

Os mecanismos biológicos que levam ao aumento das taxas de morbidade e mortalidade decorrente da exposição inalatória a concentrações excessivas de MPA ainda permanecem incertos. A OMS [1] sugere que ocorrem efeitos pulmonares locais como a inativação de bactérias pertencente a microbiota no tecido pulmonar, alterações na permeabilidade epitelial e diminuição da função de macrófagos. Esses efeitos são fatores que podem atuar como imunodepressores dos mecanismos normais de defesa pulmonar e aumentar a suscetibilidade do indivíduo aos efeitos adversos da exposição a concentrações elevadas de MPA. Por outro lado, a presença de MPA na atmosfera não deverá ser entendida como a única responsável por induzir alterações biológicas no sistema respiratório de humanos. A composição química do MPA também poderá ser um fator importante na determinação de perfis de morbidade e mortalidade na população [1]. Compostos químicos em concentrações elevadas no MPA, especialmente na fração fina, estão sendo associados a uma diminuição na expectativa de vida da população, pois podem atingir alvéolos pulmonares, passam pela membrana celular, alcançam a corrente sanguínea e podem atingir de forma sistêmica outros órgãos humanos [21].

Análise da composição química inorgânica do MPA nas escolas

As frações do MPA obtidas das escolas foram avaliadas quanto a sua composição química inorgânica. As concentrações iônicas mais abundantes observadas para a fração solúvel do MPA durante a coleta realizada na estação seca de 2015 são apresentadas na Tabela II.

Tabela II - Concentrações iônicas (mg/m³) mais abundantes na fase solúvel do MPA na escola Santarém e Mojuí dos Campos durante a estação seca do ano de 2015, Pará, Amazônia.

Íons solúveis	Escola Santarém		Escola Mojuí dos Campos	
	Fração grossa	Fração fina	Fração grossa	Fração fina
Na ⁺	0,28	0,05	0,08	0,02
NH ₄ ⁺	LD	0,10	LD	0,13
Mg ²⁺	0,04	0,01	0,03	0,01
Ca ²⁺	0,21	0,02	0,16	0,02
F ⁻	0,01	LD	LD	LD
Cl ⁻	0,42	0,06	0,16	0,04
NO ₃ ⁻	0,37	0,07	0,30	0,07
SO ₄ ²⁻	0,23	0,54	0,15	0,51

LD = abaixo do limite de detecção

Nota-se que os compostos solúveis no MPA das escolas apresentam baixas concentrações (menores que 0,54 mg/m³) nas amostras avaliadas. Os compostos Li⁺, NO₂⁻, K⁺ e Br⁻ na fração grossa e fina das escolas mostraram-se abaixo do limite de detecção do método, por esse motivo não foram apresentados na Tabela II. As concentrações iônicas solúveis mostraram-se superiores na fração grossa do MPA das escolas com exceção do SO₄²⁻ e do NH₄⁺. Segundo Oliveira, Ignotti e Hacon [22], a partir de uma pesquisa de revisão sobre a composição do MPA no Brasil, apontaram que o SO₄²⁻ foi o elemento de maior contribuição para a fração fina do MPA nos estudos publicados entre 2000 e 2009 durante a estação seca e realizados na região Amazônica.

Quanto aos íons de maior contribuição na fração grossa do MPA das escolas, verificou-se a predominância do Cl⁻, NO₃⁻, Ca²⁺ e Na⁺. Os elementos Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺ inalados em baixas concentrações pelos escolares (menor que 0,42 mg/m³), sugerem ausência de implicações relacionadas com a saúde, uma vez que são compostos que participam de várias funções fisiológicas e celulares no organismo. Quanto ao NO₃⁻, segundo a Agência Norte Americana para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR) [23], diferentemente da rota de ingestão, reportou a ausência de evidências entre a sua exposição por via inalatória e efeitos adversos observáveis. Da mesma forma para o Mg²⁺, encontrado em baixas concentrações nas amostras das escolas (menor que 0,04 mg/m³), que segundo os autores Kushner *et al.* [24], não houve associações significantes nas respostas inflamatórias pulmonares, mesmo a partir da inalação em concentrações elevadas (4138 mg/m³) de Mg²⁺.

Além da determinação dos elementos solúveis presentes no MPA das escolas, avaliou-se a composição química dos elementos traço no MPA. As concentrações de um grupo representativo de elementos são apresentadas na Tabela III.

Tabela III - Concentrações dos elementos traço (ng/m³) mais representativos no MPA fração grossa e fina nas escolas A e D durante as estações seca e chuvosa entre 2015 a 2016, Pará/AM.

Elementos traço	Escola Santarém		Escola Mojuí dos Campos	
	Fração grossa	Fração fina	Fração grossa	Fração fina
Estação seca				
Al	54,5	3,8	34,1	4,3
Ca	424,9	20,4	239,9	LD
Cd	0,01	0,02	0,01	0,02
Cu	0,3	0,07	0,1	0,03
Fe	40,8	1,6	18,2	1,5
K	31,6	80,5	37,6	90,7
Mg	64,7	9,6	55,9	7,9
Na	123,4	96,6	96,2	LD
Ni	0,05	0,1	LD	0,02
Pb	0,3	1,1	0,2	0,4
Estação chuvosa				
Al	45,1	7,2	27,9	7,9
Ca	360	LD	186	16
Cd	0,003	0,01	0,01	0,007
Cu	0,3	0,09	0,1	0,01
Fe	30,3	1,9	11,9	1,1
K	17	15	28	9,0
Mg	48,9	0,4	16,5	2,2
Na	LD	LD	LD	LD
Ni	0,04	0,07	0,03	0,02
Pb	0,3	0,7	0,3	0,4

LD = Abaixo do limite de detecção

Os resultados do presente estudo mostraram que os elementos traço (obtidos por extração ácida) mais abundantes na fração grossa do MPA das escolas foram o Ca, Na, Mg, Al, Fe. Segundo Mascarenhas *et al.* [10], esses elementos são considerados terrígenos e ocorrem comumente na fração grossa do MPA devido a ressuspensão de poeiras do solo. Nas proximidades das escolas existem ruas que não são asfaltadas, a passagem de veículos favorece a ressuspensão de poeiras, o que pode ter contribuído para a maior concentração desses elementos na fração grossa do MPA das escolas.

Na fração fina do MPA das escolas, a concentração de K se sobressaiu dos demais constituintes químicos durante a estação seca. A maior concentração de K foi observada na escola Mojuí dos Campos de 90,7 ng/m³. Concentrações elevadas de K na fração fina, especialmente durante a estação seca, podem ser provenientes de ressuspensão de poeiras enriquecidas com fertilizantes utilizados nas atividades agrícolas e em decorrência das queimadas florestais [25]. Para o presente estudo, o aumento do número de focos de queimadas durante a estação seca decorrente das atividades agrícolas no município de Mojuí dos Campos pode ter contribuído para concentrações maiores de K⁺ nas amostras das escolas. Estudos apontam para a ocorrência de K⁺ no MPA como traçador da queima de biomassa florestal na Amazônia, especialmente, nas regiões localizadas mais ao sul da bacia, como o município de Alta Floresta e Rondônia no arco do desmatamento [26,27].

Os elementos traço como Cd, Ni, Cu e Pb apresentam baixas concentrações nas frações do MPA coletado nas escolas (menores que 1,1 ng/m³). Esses elementos são considerados traçadores de atividades antropogênicas como queima de combustíveis fósseis e emissões industriais [28]. As baixas concentrações desses elementos nas escolas, eram esperadas, uma vez que as escolas não estão localizadas em região de intensa atividade industrial e de tráfego veicular.

O conhecimento atual disponível não permite a quantificação precisa ou classificação definitiva dos efeitos sobre a saúde em relação aos muitos compostos químicos presentes no MPA inalável e, de fato, as associações entre compostos poderá resultar em componentes múltiplos que atuam em diferentes mecanismos fisiológicos, e se tornam ainda mais difíceis de serem compreendidos. Acredita-se que os mecanismos fisiológicos possam ser manifestados através de vários caminhos no organismo humano e muito provavelmente se inter-relacionam e envolvem mecanismos de estresse oxidativo celular e respostas inflamatórias intensas

dependendo do tipo de elemento traço [1]. O estresse oxidativo, também tem sido associado, como um fator comum em uma série de efeitos adversos da poluição do ar no aparelho respiratório e no sistema cardiovascular. A partículas químicas a partir do MPA vem sendo associada a injúrias respiratórias levando à exacerbação de bronquite crônica e diminuição da função pulmonar [29].

Conclusão

A partir dos resultados encontrados, conclui-se que as crianças de ambas as escolas estão expostas a uma atmosfera com grande quantidade de partículas grossas durante a estação seca, composta por substâncias químicas solúveis em baixas concentrações e elementos traços que indicam serem provenientes de ressuspensão de poeiras do solo como das ruas não asfaltadas localizadas nas proximidades das escolas. Dessa forma, entende-se que a exposição das crianças ao MPA, embora em concentração mais elevada durante a estação seca, não seja um fator prioritário na determinação de desfechos graves em saúde, como as pneumonias e as bronquites, por serem partículas que tendem a se depositar nas vias aéreas superiores e, normalmente, são expelidas do organismo pelo sistema imunitário. As partículas mais finas, mais perigosas para a saúde, mostraram-se em baixas concentrações nas escolas em ambas as estações, entretanto a predominância do potássio, especialmente na escola Mojuí dos Campos, indica a influência das queimadas proveniente da biomassa florestal e a importância de novos estudos epidemiológicos e toxicológicos que relacionem o desmatamento com o número de casos de morbidade por doenças respiratórias na região.

Agradecimentos

Agradecimentos são devidos ao Jozinei Ferreira Lopes e Cátia Gonçalves pela orientação de campo durante a coleta e análises das amostras de material particulado atmosférico. De vários modos, esta pesquisa se beneficiou do apoio da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Laboratório Labvida-Santarém e do financiamento das agências CAPES e CNPq (Grant 305119/2015-0).

Referências

1. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005. Geneva: WHO; 2005. 22p.
2. World Health Organization. Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants. Denmark: WHO; 2010. 484p.
3. Brito PHF, Araújo RS, Silva GMM. Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão da literatura. *Holos* 2018;34(3):62-74. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.4648>
4. Kittner N, Fadadu RP, Buckley HL, Schawazman MR, Kammen DM. Trace metal content of coal exacerbates air pollution related health risks: the case of lignite coal in Kosovo. *Environ Sci Technol* 2018;52(4):2359-67. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04254>
5. Downward GS, Van Nunen EJHM, Kerckhoffs J, Vineis P, Brunekreef B, Boer JMA et al. Long term exposure to ultrafine particles and incidence of cardiovascular and cerebrovascular disease in a prospective study of a Dutch cohort. *Environ Health Perspect* 2018;126(12):127007. <https://doi.org/10.1289/EHP3047>
6. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: WHO; 2016. 121p.
7. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; 2014.
8. Lewtas J. Air pollution combustion emissions: characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive and cardiovascular effects. *Mutat Res* 2007;636(1-3):95-133. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2007.08.003>
9. Jacobson LSV, Hacon S, Castro HÁ, Ignotti E, Artaxo P, Ponce LA. Associação entre material particulado fino e o pico de fluxo expiratório dos escolares na subequatorial Amazônia brasileira: um estudo de painel. *Environm Research* 2012;116:1-25. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2017051006523>

10. Mascarenhas MDM, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal APPR, Duarte AF, Hatch DL. Poluição atmosférica devido à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doenças respiratórias em Rio Branco, Brasil – setembro de 2005. *J Bras de Pneumol* 2008;34(1):42-6. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>
11. Barros MMA. Poluição atmosférica e hospitalizações por doenças respiratórias em crianças menores de 12 anos no município de Porto Velho-RO, Amazônia ocidental [Dissertação]. Porto Velho: Fundação Universidade Federal de Rondônia; Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente; 2011.
12. Gomes ACS, Costa GB, Vale RS, Santana RAS, Batalha SSA, Silva JT, et al. Índices micrometeorológicos e internações de crianças por doenças respiratórias em Santarém, Oeste do Pará. *Ciência e Natura* 2016;38(1):1-6. <https://doi.org/10.5902/2179460X19691>
13. Longo KM, Thompson AM, Kirchho WJH, Remer LA, Freitas SR, Silva DMAF, et al. Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B). *Journal of the Geophysical Research* 1999. <https://doi.org/10.1029/1999jd900044>
14. Brasil. Ministério da Saúde. Decreto – lei nº 59.113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Coletânea de Legislação, edição estadual, São Paulo, 2013. Ministério da Saúde: São Paulo; 2013.
15. Krewski D, Burnett R, Golderbg MK, White W. Re-analysis of the Harvard Six-Cities Study and the American Cancer Society study of air pollution and mortality. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 2003;66(16-19):1507-51.
16. Gonçalves CVM, Figueiredo BR. Material particulado atmosférico da Amazônia - fontes e propriedades. In: Gorayeb P, Meiguins A, eds. *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte 2015;9(1):235-49.
17. Artaxo P, Campos RC, Fernandes ET, Martins JV, Xiao Z, Lindqvist Q et al. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon Basin. *Atmos Environ* 2000;34:4085–96. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00106-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00106-0)
18. Rosa MR, Ignotti E, Hacon SS, Castro H. Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra - Amazônia Brasileira. *J Bras Pneumol* 2008;34:575-82. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000800006>
19. Ignotti E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, Hacon SDS, Netto PA. Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. *Revista de Saúde Pública* 2010; 44:121-30. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102010000100013>
20. Jacobson LSV. Efeitos adversos da poluição atmosférica em crianças e adolescentes devido a queimadas na Amazônia: uma abordagem de modelos mistos em estudos de painel [Tese]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Saúde Coletiva; 2013.
21. Dominic F, Wang GY, Correia A, Ezzati M, Pope CA, Dockery DW. Chemical composition of fine particulate matter and life expectancy. *Epidemiology* 2016;26(4):556-64. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000297>
22. Oliveria BFA, Ignotti E, Hacon S. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. *Cad Saúde Pública* 2011;27(9). <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900003>
23. Agency For Toxic Substances e Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for Nitrate and Nitrite. U.S Department of Health and Human Services Public Health Service: Atlanta; 2017.
24. Kuschner WG, Wong H, Dalessandro A, Quinlan P, Blanc PD. Human pulmonary responses to experimental inhalation of high concentration fine and ultrafine magnesium oxide particles. *Environ Health Perspect* 1997;105(11):1234-7. <https://doi.org/10.1289/ehp.971051234>
25. Paterlini WC. Fontes e composição das partículas atmosféricas na área urbana e rural da região central do estado de São Paulo [Tese]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; 2007.
26. Maenhaut W, Fernández-Jiménez MT, 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* 2002;189:243-8.

27. Fuzzi S, Decesari S, Fachini MC, Emblico L, Mircea M, Andreae MO et al. Overview of the inorganic and organic composition of size-segregated aerosol in Rondônia, Brazil, from the biomass-burning period to the onset of the wet season. *Journal of Geophysical Research* 2007;1:35. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(01\)01050-3](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(01)01050-3)
28. Almeida SM, Canha N, Silva A, Freitas MC, Pegas P, Alves C et al. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. *Atmospheric Environment* 2011;45:7594-9. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.052>
29. Pope CA, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 2004;109:71-7. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F>