



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DOUTORADO SOCIEDADE, NATUREZA E
DESENVOLVIMENTO

MARINA SMIDT CELERE MESCHEDE

IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE DE ESCOLARES A PARTIR
CONSUMO DE ÁGUA E MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO
INALADO EM ESCOLAS DE SANTARÉM E MOJUÍ DOS CAMPOS,
PARÁ, AMAZÔNIA

SANTARÉM (PA)
2018

MARINA SMIDT CELERE MESCHEDE

**IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE DE ESCOLARES A PARTIR
CONSUMO DE ÁGUA E MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO
INALADO EM ESCOLAS DE SANTARÉM E MOJUÍ DOS CAMPOS,
PARÁ, AMAZÔNIA**

Tese apresentada a Banca Examinadora da Universidade Federal do Oeste do Pará para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de pesquisa Sociedade, Natureza e Desenvolvimento. Linha de pesquisa do Programa: Processos de Urbanização na Amazônia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof^o. Dr. Bernardino R. Figueiredo

SANTARÉM (PA)
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

M578i Meschede, Marina Smidt Celere
Implicações para a saúde de escolares a partir consumo de água e material particulado atmosférico inalado em escolas de Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia / Marina Smidt Celere Meschede. – Santarém, Pará, 2018.
185 fls.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador Bernardino R. Figueiredo
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação, Doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento.

1. Água subterrânea. 2. Saúde ambiental. 3. Escolares. 4. Saúde. 5. Amazônia. I. Figueiredo, Bernardino R., *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 363.7

Bibliotecário - Documentalista: Eliete Sousa – CRB/2 1101

TERMO DE APROVAÇÃO

MARINA SMIDT CELERE MESCHEDE

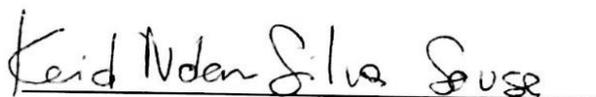
IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE DE ESCOLARES A PARTIR DO CONSUMO DE
ÁGUA E MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO INALADO EM ESCOLAS
DE SANTARÉM E MOJÚ DOS CAMPOS, PARÁ, AMAZÔNIA

Esta Tese de Doutorado foi avaliada pelos membros da Banca Examinadora, abaixo
assinados:

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Bernardino Ribeiro de Figueiredo (PPGSND/UFOPA)



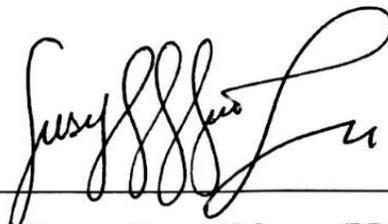
Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa (PPGSND/UFOPA)



Prof. Dr. Sergio de Melo (PPGSND/UFOPA)



Prof. Dr. Luis Reginaldo Ribeiro Rodrigues (PPGSND/UFOPA)



Prof.^a Dr.^a Susana Segura Munoz (PPGESP/USP)



Prof. Dr. Wilson Sabino (Especialização em Saúde da Família e Comunidade/UFOPA)

Dedicatória

Dedico esta tese ao meu esposo Gustavo Meschede e a minha filha Lais, pelo amor e motivação.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Bernardino Figueiredo, pela competência e respeito com que conduziu este processo, pelos diversos ensinamentos, paciência e amizade.

A Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) pela oportunidade da realização do curso de doutorado e pelo reconhecimento através do meu afastamento docente para a conclusão da tese.

Aos meus colegas de trabalho do Instituto de Saúde Coletiva (ISCO) da UFOPA, em especial ao Prof. Dr. Waldiney Pires, Prof. Dr. Wilson Sabino, Prof^a Annelise Rosenthal, Leida Caldeira e Jerdriana Pereira, pela importância reconhecida através do meu afastamento para a construção da tese.

As diretoras das escolas de ensino fundamental de Santarém e Mojuí dos Campos, Prof^a. Jandra e Prof^a. Sileide, que sempre se mostraram muito acolhedoras durante as coletas de campo.

À secretaria municipal de Educação de Santarém e Mojuí dos Campos e respectivos secretários Dra. Irene Escher e Sr. Juvenal Arruda pelo reconhecimento da importância da pesquisa na região.

Ao Laboratório LabVida pelo auxílio prestado e estrutura disponível para a realização dos testes analíticos das amostras de água.

Ao Instituto de Geociências (IG) da UNICAMP, em especial a Maria Aparecida Vendemiatto e Margareth Sugano no apoio nas análises das amostras de água e material particulado atmosférico.

A querida Cátia Gonçalves pela receptividade na UNICAMP durante as análises e pelas contribuições nos métodos analíticos.

À divisa de Saúde de Santarém e Mojuí dos Campos, em especial ao sr. João Alberto, Diego, Paula, Lucineide e Marília no auxílio a coleta das informações epidemiológicas.

À secretaria municipal de Saúde de Santarém e Mojuí dos Campos, pelo reconhecimento da importância da pesquisa na região.

Ao Hospital Municipal de Santarém, em especial ao sr. Riva que me auxiliou na coleta das informações sobre as internações hospitalares.

A minha querida mãe pela motivação nos momentos mais difíceis e por ser tão acolhedora com a Lais durante as minhas ausências na construção da tese.

A minha irmã Beatriz que sempre esteve disponível a me ajudar, especialmente na construção dos “diversos” mapas da tese.

Aos meus queridos sogros, Corina pelo apoio com a Lais e José Carlos por várias vezes ter me acompanhado e enfrentado comigo a estrada até Mojuí dos Campos.

A minha família pelo incentivo e carinho durante as minhas estadias em Ribeirão Preto.

Ao ex aluno de graduação em geologia da UFOPA, Jozinei Lopes, pela disponibilidade e contribuições durante a coleta do material particulado.

Ao sr. Wsnand da COSANPA, sempre esteve disponível a me ajudar com informações sobre água e abastecimento público na região de Santarém.

Aos amigos da turma de 2014 do doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento da UFOPA pelo companheirismo nas risadas e angustias vivenciadas durante os 4 anos.

A Prof^a. Dr^a Susana Muñoz, por sempre me ensinar sobre pesquisa, me receber sempre que precisei com carinho na EERP USP e me confortar com seus ensinamentos nos momentos mais difíceis.

Aos amigos do LEPA – EERP USP pelo apoio despendido nos cálculos sobre estimativa de risco em saúde e por sempre se mostrarem acessíveis a me ajudar e contribuir na tese.

Aos alunos e respectivos responsáveis das escolas municipais de ensino fundamental de Santarém e Mojuí dos Campos, pela disponibilidade e por aceitarem participar do estudo

Por fim, e não menos importante, a Deus.

Epígrafe

*“Não haverá borboletas se a vida não passar por longas e silenciosas metamorfoses”
(Rubem Alves)*

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar as implicações para a saúde de escolares a partir do consumo de água e material particulado atmosférico (MPA) inalável em escolas três escolas de Santarém e uma em Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia. Utilizou-se um questionário para a coleta de informações sobre perfil sócio demográfico e de exposição a poluição hídrica e atmosférica dos escolares. Análises microbiológicas, físico químicas e químicas foram realizadas em 36 amostras de água durante as estações seca e chuvosa. A coleta do MPA ocorreu durante a estação seca e chuvosa, com o auxílio de um Impactador de Cascata em oito estágios para determinação da concentração mássica do MPA, bem como, da composição inorgânica das frações grossa e fina em duas escolas. Dados epidemiológicos sobre morbimortalidade de crianças quanto ao consumo de água e exposição a poluição atmosférica foram coletados nos municípios de estudo entre 2014 a 2016. Os resultados analíticos de água foram comparados com a Portaria do Ministério da Saúde 2914 e estimou-se o risco quantitativo para a saúde com base na metodologia proposta pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA). Os resultados analíticos da qualidade do ar foram comparados com os padrões estabelecidos pelo Decreto Estadual de SP 59113 e investigadas as implicações para saúde. Os resultados dos questionários mostraram que a maior parte dos escolares são crianças que residem em famílias numerosas, de baixa renda socioeconômica, residem no próprio bairro da escola e recebem em seu domicílio água proveniente de poços subterrâneos profundos. A maioria relatou utilizar medidas de tratamento da água para consumo diário como o hipoclorito e informaram apresentar com pouca frequência adoecimentos relacionados ao sistema gástrico intestinal e respiratório. Os resultados analíticos da água, evidenciaram contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli* em 28 amostras e 16 das amostras analisadas, respectivamente e confirmaram que as águas das escolas são ácidas (pH entre 3,8 a 5,9), o que poderá implicar em distúrbios gástricos e intestinais em escolares expostos. A maioria dos compostos químicos na água apresentaram concentrações inferiores ao recomendado, com exceção do alumínio, que se mostrou até cinco vezes superior ao valor estabelecido pela Portaria 2914 nas amostras de água avaliadas provenientes de poços rasos apenas das escolas de Santarém (valor máximo de 1045 ng/mL). A exposição a longo prazo à concentração elevada de alumínio na água é associada a implicações neurológicas como demência e doença de Alzheimer. As concentrações de nitrato, embora com valores dentro do recomendado (≤ 10 mg/L), apresentaram valores superiores (valor médio entre 1,9-8,0 mg/L) nas amostras de água captadas de poços rasos das escolas de Santarém em comparação com as amostras da captadas de poços profundos (valor médio entre 0,1-0,5 mg/L) apontando para a importância do seu monitoramento periódico em água, visando a prevenção de distúrbios associados a sua ingestão como a metahemoglobinemia infantil. A quantificação de risco à saúde de crianças, foi significativa (≥ 1) apenas para escolares de Santarém que consomem água das escolas com poços rasos. O alumínio e o nitrato na água foram os compostos que mais contribuíram na constituição do risco. Os resultados analíticos do MPA evidenciaram que houve a predominância de partículas fração grossa na atmosfera, com valores de concentração mássica entre 55,28 a 76,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a coleta realizada na estação seca e de 26,08 a 31,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a coleta realizada na estação chuvosa, entretanto, com baixa concentração de compostos químicos solúveis e de elementos traços, com predominância de elementos terrígenos como Ca, Na, Mg, Al, Fe. A fração fina do MPA, mais perigosa para a saúde devido deposição em vias aéreas inferiores, mostrou baixas concentrações mássicas nas escolas em ambas as estações com valores entre 8,10 a 20,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a estação seca e de 0,11 a 2,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante a coleta realizada na estação chuvosa. As concentrações de MPA foram inferiores aos padrões de

qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto estadual de SP em ambas as escolas e períodos de coleta. A análise química ácida da fração fina revelou a predominância do potássio, especialmente na escola de Mojuí dos Campos durante a estação seca ($90,7 \text{ ng/m}^3$), o que poderá indicar material originário de queima da biomassa florestal na escola. Resultados epidemiológicos sobre morbimortalidade em crianças menores de 10 anos, mostraram que a prevalência e a taxa de internação por doenças diarreicas agudas e doenças respiratórias foram mais elevadas na faixa etária de menores de um ano e durante o período chuvoso. O município de Santarém apresentou maior prevalência de doenças diarreicas e respiratórias quando comparado com Mojuí dos Campos. As taxas de mortalidade foram maiores para as doenças respiratórias quando comparadas com as doenças diarreicas. Dessa forma, os resultados encontrados sobre qualidade da água e do ar por esta tese são pioneiros em escolas na região de Santarém e indicam que a qualidade da água subterrânea deverá ser monitorada periodicamente, especialmente, aquelas captadas por poços menos profundos de forma a garantir menores efeitos adversos em saúde. Embora, a qualidade do ar tenha se mostrado boa, o aumento da prevalência de internações e óbitos em crianças por doenças respiratórias sugere que novas avaliações de exposição a poluentes atmosféricos devem ser realizadas para a garantia da promoção a saúde.

Palavras- chave: água subterrânea, escolares, material particulado atmosférico, saúde, Amazônia, Saúde Ambiental.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the health implications of schoolchildren from the evaluation of drinking water quality and the characteristics of the inhalable Atmospheric Particulate Matter (MPA) that they are exposed in tree schools in Santarém and one in Mojuí dos Campos, Pará, Amazonia. A questionnaire was applied to collect sociodemographic characteristics and information about water and atmospheric pollution exposure. Microbiological, physical-chemical and chemical analyses were performed in 36 water samples during dry and rainy seasons. The MPA was collected during the dry and rainy season, with an eight - stage cascade impactor, to determine the MPA mass concentration and the inorganic composition of the coarse and fine fractions in two schools. Epidemiological data on children's morbidity and mortality about water consumption and exposure to air pollution were collected in the study municipalities between 2014 and 2016. The analytical results of water were compared with the Ministry of Health Ordinance 2914 and the human health risk quantification was estimated based on the methodology proposed by the American Environmental Protection Agency (USEPA). The analytical results of air quality were compared with the standards established by State Decree of SP 59113 and investigated the implications for health. The results of the questionnaires showed that the majority of schoolchildren are children who live in families with more than five people, receive from one to two minimum wages per month, reside in the school district and receive at your home water from deep wells. The majority of schoolchildren claimed to treat drinking water before daily consumption with hypochlorite and reported having infrequently diseases related to the intestinal and respiratory gastric system. The water analysis showed contamination by total coliforms and *Echechiria coli* in 28 samples and 16 of the analysed samples, respectively and confirmed that the water in the schools is acidic (pH between 3.8 and 5.9), which may imply in gastric and intestinal disorders in exposed schoolchildren. Most of the chemical compounds in the water had concentrations lower than the recommended one, except for aluminium, which was shown up to five times higher than the value established by Ordinance 2914 in the water samples evaluated from shallow wells from the schools of Santarém (maximum value of 1045 ng/mL). Long-term exposure to high aluminium concentration in water is associated with neurological implications such as dementia and Alzheimer's disease. The nitrate concentrations, although with values within the recommended (<10 mg/L), presented higher values (mean value between 1.9 and 8.0 mg/L) in water samples taken from shallow wells of Santarém schools when compared to samples taken from deep wells (mean value 0.1-0.5 mg/L), appointing the importance of its periodic monitoring in water, in order to prevent disturbances associated with its ingestion, such as infant methaemoglobinemia. The quantification of the health risk of children was significant (≥ 1) only for schoolchildren from Santarém who consume water from schools with shallow wells. Aluminium and nitrate in water were the compounds that most contributed to the formation of risk. The MPA analytical results showed that there was a predominance of coarse fraction particles in the atmosphere, with values of mass concentration between 55.28 and 76.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during the dry season and from 26.08 to 31.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during collection in the rainy season, however, with a low concentration of soluble chemical compounds and traces, with predominance of terrigenous elements such as Ca, Na, Mg, Al, Fe. The fine fraction of MPA, more dangerous for the health due to deposition in the lower airways, showed low mass concentrations in schools in both stations with values between 8.10 and 20.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during the dry season and from 0.11 to 2.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during collection held in the rainy season. The concentrations of MPA were lower than the air quality standards established by the SP State Decree in both schools and collection periods. The acidic chemical analysis of the fine fraction revealed the predominance of potassium, especially in the school of Mojuí dos Campos during

the dry season (90.7 ng/m^3), which may indicate material originating from burning the forest biomass in the school. Epidemiological results about morbidity and mortality in children under 10 years of age showed that the prevalence and hospitalization rate for acute diarrheal diseases and respiratory diseases were higher in children under one year of age and during the rainy season. The municipality of Santarém presented a higher prevalence of diarrheal and respiratory diseases when compared to Mojuí dos Campos. Mortality rates were higher for respiratory diseases when compared to diarrheal diseases. The results obtained on drinking water and air quality by this thesis are pioneers in schools in the Santarém region and indicate that the quality of groundwater should be periodically monitored, especially those collected by shallow wells in order to guarantee smaller effects adverse health outcomes. Although air quality has proved to be good, the increased prevalence of hospitalizations and deaths in children due to respiratory diseases suggests that new assessments of exposure to air pollutants should be performed to ensure health promotion.

Keywords: groundwater; atmospheric particulate matter; health; schoolchildren; children; Amazônia; environmental health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do aquífero Alter do Chão e do aquífero Guarani no Brasil.

Figura 2. Mapa global de emissão anual média de concentração de MPA fração fina em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 3. Série histórica do desmatamento na região Amazônica Brasileira de 1988 a 2016.

Figura 4. Precipitação anual (mm) de Janeiro a Dezembro de 2016 na estação meteorológica de Santarém, Pará, Amazônia.

Figura 5. Probabilidade de deposição das frações grossa, fina e ultrafina do MPA inalável no trato respiratório humano.

Figura 6. Pirâmide sobre a gravidade dos efeitos adversos em saúde da exposição ao MPA.

Figura 7. Resumo esquemático das etapas da avaliação quantitativa de risco à saúde humana.

Figura 8. Localização das escolas A, B e C na cidade de Santarém e escola D em Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Figura 9. Placa de petri com resultado positivo para coliformes totais e placa de petri em leitura com luz de fluorescência com resultado positivo para *E.coli*.

Figura 10. Impactador de cascata em oito estágios utilizado para a coleta do MPA e sua comparação com o sistema respiratório humano.

Figura 11. Formas de tratamento prévio da água de consumo por escolares da escola A de Santarém e da escola D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Figura 12. Valor médio de UFC/100mL para: i. coliformes totais ii. E.coli e iii. bactérias heterotróficas em amostras de água das escolas A, B e C na cidade de Santarém e D em Mojuí dos Campos segundo as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016, Pará, Amazônia.

Figura 13. Reservatório suspenso de água (caixa d'água) na escola C de Santarém, desprovido de tampa e coberto com lona, Pará, Amazônia.

Figura 14. *Box plot* referente a variação das concentrações de Nitrato (N-NO_3^-) em mg/L nas amostras de água das escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Figura 15. *Box plot* referente a variação das concentrações de alumínio (Al) em ng/ml nas amostras de água das escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características das escolas A, B e C de Santarém e escola D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Tabela 2. População estimada de crianças menores de 10 anos residentes nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos e na região micro geográfica de Santarém, de acordo com a faixa etária nos anos de 2014, 2015 e 2016.

Tabela 3. Parâmetros utilizados para o cálculo de exposição a elementos químicos na água na avaliação quantitativa de risco a saúde de escolares em Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Tabela 4. Número (N) de amostras com resultados microbiológicos positivos e intervalo de UFC/100mL, segundo as coletas realizadas durante as estações seca e chuvosa nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Tabela 5. Concentração média (Méd), valor mínimo (Mín) e máximo (Máx) dos parâmetros físico químicos avaliados em 36 amostras de água coletadas nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos nas estações seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Tabela 6. Concentração média (Méd), valor mínimo (Mín) e máximo (Máx) de ânions (mg/L) em 36 amostras de água coletadas nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos durante as estações de seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Tabela 7. Concentração média (Méd), valor mínimo (Mín) e máximo (Máx) dos elementos traço (ng/ml) nas amostras de água coletadas nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos durante as estações de seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Tabela 8. Estimativa de Dose de Exposição (DE) em mg/Kg/dia para alguns metais e nitrato em água calculada para a via de ingestão por crianças nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Tabela 9. Coeficiente de Risco não carcinogênico e Índice de risco à exposição oral (ingestão) de alguns metais e nitrato em água nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Tabela 10. Concentrações mássicas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de MPA fração grossa e fina coletado na escola A de Santarém e na escola D de Mojuí dos Campos durante as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016 e os respectivos dados meteorológicos do período correspondente de cada coleta, Pará, Amazônia.

Tabela 11. Concentrações iônicas (mg/m^3) mais abundantes na fase solúvel do MPA coletado na escola A de Santarém e na escola D de Mojuí dos Campos durante a estação seca de 2015, Pará, Amazônia.

Tabela 12. Concentrações dos elementos traço (ng/m^3) mais representativos no MPA fração grossa e fina coletado nas escolas A de Santarém e D de Mojuí dos Campos durante as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016, Pará, Amazônia.

Tabela 13. Número absoluto (N) de casos de prevalência de DDAs por 1.000 crianças menores de 10 anos notificados nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos, segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

Tabela 14. Número absoluto (N) de internações hospitalares e taxa de internação por doença diarreica por 1.000 crianças menores de 10 anos no Hospital Municipal de Santarém segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

Tabela 15. Número absoluto (N) de internações e taxa de internação por doenças respiratórias por 1.000 crianças menores de 10 anos no Hospital Municipal de Santarém segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

Tabela 16. Taxa de mortalidade por 100 mil crianças e a mortalidade proporcional por doenças respiratórias em menores de 10 anos em Santarém segundo a faixa etária e ano de ocorrência.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Valores máximos permissíveis de MPA segundo a Resolução do CONAMA nº3/1990, Decreto Estadual de SP nº59113/2013 e valores da OMS (2005).

Quadro 2. Limites de Detecção do Cromatógrafo Iônico para as análise de ânions nas amostras.

Quadro 3. Limites de Detecção do Cromatógrafo Iônico para as análises de cátions nas amostras.

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABRASCO	Associação Brasileira de Saúde Coletiva
ANA	Agência Nacional das Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Register
CDC	Centro de Controle de Doenças e Prevenção
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGVAM	Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde
CI	Cromatografia Iônica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPESA	Comissão permanente de Saúde Ambiental
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DDAs	Doenças Diarreicas Agudas
DSS	Determinantes Sociais em Saúde
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
Hb	Hemoglobina
HMS	Hospital Municipal de Santarém
HOSPUB	Sistema Integrado de Informação de Ambiente Hospitalar
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMC	Índice de Massa Corporal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas
ISCO	Instituto de Saúde Coletiva
IRIS	Integrated Risk Information System
LD	Limite de Detecção
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPA	Material Particulado Atmosférico
OMS	Organização Mundial da Saúde

ONU	Organização das Nações Unidas
PPCDAm	Plano de Ação para Proteção e Controle do Desmatamento na Amazônia
R/D	Reference Dose
SESPA	Secretaria de Saúde do Estado do Pará
SIDRA	Sistema IBGE de recuperação automática
SIM	Sistema Mortalidade
SISAGUA	Sistema de Informações da Vigilância da Qualidade de Água de Consumo
SISAR	Sistema de Informações de Vigilância da Qualidade do Ar
SISSOLO	Sistema de Informações de Vigilância da Qualidade do Solo
STTR	Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais
SIVEP	Sistema de Informação Vigilância Epidemiológica
SLRS-5	River Water Reference Material for Trace Elements
SUS	Sistema Único de Saúde
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UEPA	Universidade Estadual do Pará
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para Infância
USEPA	Agencia Norte Americana de Proteção Ambiental
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água de Consumo
VMP	Valor Máximo Permitido
VOCs	Compostos Orgânicos Voláteis
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1 Interface saúde e ambiente.....	07
2.2 Água para consumo humano.....	12
2.2.1 Componentes biológicos na água de consumo humano e saúde.....	15
2.2.2 Compostos químicos na água de consumo humano e saúde.....	20
2.3 O MPA e suas implicações para saúde humana.....	25
2.4 Avaliação quantitativa de risco para a saúde humana.....	35
3. OBJETIVOS.....	38
3.1 Objetivo Geral.....	39
3.2 Objetivos Específicos.....	39
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
4.1 Delineamento do estudo.....	41
4.2 Aspectos éticos.....	41
4.3 Contextualizações sobre os municípios de Santarém e Mojuí dos Campos.....	41
4.3.1 Local de estudo.....	43
4.4 Coleta de dados sobre perfil sócio-demográfico e de exposição a poluição hídrica e atmosférica dos escolares.....	45
4.5 Coleta das amostras de água.....	46
4.6 Métodos analíticos para amostras de água.....	48
4.6.1 Análise microbiológica.....	48
4.6.2 Análise dos parâmetros físico-químicos.....	49
4.6.3 Análise de ânions.....	50
4.6.4 Análise dos elementos traço.....	51
4.7 Coleta das amostras de MPA.....	52
4.8 Métodos analíticos para amostras de MPA.....	54
4.8.1 Análise gravimétrica.....	54

4.8.2 Análise das fases solúveis.....	55
4.8.3 Análise dos elementos traço.....	55
4.9 Coleta de dados sobre morbimortalidade por doenças diarreicas e respiratórias em Santarém e Mojuí dos Campos.....	56
4.10 Análise dos resultados analíticos de água e MPA.....	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1 Perfil sóciodemográfico e de exposição hídrica e atmosférica dos escolares.....	61
5.2 Qualidade da água de consumo humano nas escolas e implicações em saúde.....	66
5.2.1 Qualidade microbiológica da água de consumo humano nas escolas	66
5.2.2 Parâmetros físico-químicos e composição química da água de consumo humano nas escolas.....	74
5.2.3 Avaliação quantitativa de risco a saúde de escolares por ingestão de água..	87
5.3 Caracterização do MPA inalável nas escolas e implicações em saúde.....	90
5.3.1 Concentração mássica e composição inorgânica do MPA nas escolas.....	90
5.4 Morbimortalidade por doenças diarreicas e respiratórias em Santarém e Mojuí dos Campos.....	99
5.4.1 Prevalência, taxa de internação e mortalidade por doenças diarreicas.....	99
5.4.2 Taxa de internação e mortalidade por doenças respiratórias.....	104
6. CONCLUSÃO.....	108
REFERÊNCIAS.....	112
APÊNDICES.....	130
ANEXOS.....	138

1. INTRODUÇÃO

Esta tese teve como problema central avaliar as principais implicações para a saúde de escolares a partir da análise da qualidade da água de consumo e do ar inalado em escolas municipais de ensino fundamental localizadas nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia. Para isso, selecionou-se três escolas no município de Santarém e em uma escola no município rural de Mojuí dos Campos. O presente estudo justifica-se pelo fato de consistir uma pesquisa inédita em Santarém e Mojuí dos Campos no que tange a avaliação dos efeitos ambientais em saúde de escolares advindos da água e do ar, em uma cidade urbanizada e com crescimento rápido como Santarém e em um município de pequeno porte e rural na região Amazônica, como Mojuí dos Campos. Para esse estudo foi proposto uma abordagem interdisciplinar na avaliação da interface saúde humana e o meio ambiente, considerando que fatores decorrentes da urbanização e do desmatamento possam ser possíveis interferentes na qualidade da água e do ar dessa região. O desenvolvimento desta tese mostrou uma afinidade temática com a linha de pesquisa de Processos de Urbanização na Amazônia e Sustentabilidade do Programa de Pós Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

Até 2017, poucos estudos foram realizados na região de Santarém na subárea da saúde ambiental, principalmente envolvendo a avaliação da qualidade da água subterrânea de consumo humano, poluição atmosférica e implicações para a saúde humana. Alguns trabalhos desenvolvidos, consistiram no estudo das águas superficiais na Amazônia e abordam, em geral, as implicações para os ecossistemas, como os efeitos no desenvolvimento de peixes e de outros seres vivos aquáticos. A originalidade deste trabalho contribuirá com resultados sobre saúde ambiental em escolas municipais de ensino fundamental de Santarém e Mojuí dos Campos. Por meio das Secretarias de Educação de cada município, verificou-se que este é o primeiro trabalho sobre saúde e ambiente em escolas municipais na região de Santarém. As pesquisas anteriormente realizadas nas escolas, voltaram-se para a área de ensino como, por exemplo, autismo e ensino fundamental em escolas de Santarém e para a área da educação ambiental como, por exemplo, o projeto Escola D'Água que propõe oficinas educativas ambientais em 34 escolas municipais da região de Santarém.

Para se estudar sobre esses anseios envolvendo saúde e ambiente (água de consumo e ar) nas escolas de Santarém e Mojuí dos Campos, esta tese levou em conta a definição do Ministério da Saúde (2007) sobre saúde ambiental como sendo “*a interação entre a saúde*

humana e os fatores do meio ambiente natural e antrópico que a determinam, condicionam e influenciam, com vistas a melhorar a qualidade de vida do ser humano sob o ponto de vista da sustentabilidade” (BRASIL, 2007). Essa relação demanda abordagens teórico metodológicas tão complexas que na maioria das vezes não são capazes de serem atendidas por meios disciplinares. Entende-se que o campo do conhecimento da saúde ambiental, ao relacionar a saúde aos fatores do meio ambiente natural e antrópico, integra uma proposta interdisciplinar (RAMOS, 2013) e reconhece que a produção de saúde não se limita somente ao campo da saúde (BRASIL, 2007).

O grande número de fatores ambientais que podem interferir na saúde humana é um indicativo da complexidade das interações existentes e da amplitude de ações interdisciplinares necessárias para melhorar os fatores ambientais que são determinantes na saúde (RIBEIRO, 2004). Este fato vem motivando, mundialmente, o desenvolvimento de pesquisas na área da Saúde Ambiental. Dentre os principais pontos investigados, que acarretam desequilíbrios em saúde, ressaltam-se a crescente contaminação química, radioativa e microbiológica dos mananciais e reservas hídricas do planeta, bem como, o comprometimento da qualidade do ar (WHO, 2016). A água e o ar têm fundamental importância para a manutenção da vida no planeta, além disso, preservar a qualidade desses recursos ambientais é um ponto determinante na promoção a saúde dos povos.

No Brasil, a garantia de oferta de água com qualidade adequada a todos os cidadãos ainda permanece como um desafio, especialmente na região Norte do país. De acordo com dados do último Plano Nacional de Saúde (2012 – 2015), divulgado pelo Ministério da Saúde, no Brasil houve um aumento do percentual de domicílios cobertos pela rede de abastecimento de água potável de 14,7% entre 2000 e 2008, entretanto, a localidade brasileira que menos progrediu nesse quesito foi a região Norte com aumento de apenas 1% da cobertura sanitária e de distribuição de água potável (BRASIL, 2011). Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), na região Norte menos de 14% da população é atendida por sistemas hídricos considerados satisfatórios para consumo (ANA, 2010).

No estado do Pará, especialmente a região de Santarém, vem sendo considerada como uma das piores do País em termos de acesso aos sistemas considerados satisfatórios de saneamento básico, incluindo a distribuição de água. (TRATA BRASIL, 2016). A exploração imediatista e sem planejamento da água subterrânea através de poços artesianos particulares e pouco profundos podem ser fatores agravantes na determinação de saúde da população. Santarém é uma cidade na Amazônia que já apresenta alguns dos efeitos negativos de

urbanização, como a existência de graves problemas de saneamento que podem afetar a qualidade da água de consumo humano e a saúde da população. Por outro lado, Mojuí dos Campos, que é também objeto da presente pesquisa, ainda não passa por tais problemas, por ser menos urbanizada e por apresentar um sistema de abastecimento hídrico subterrâneo profundo (>200m) que ainda garante o abastecimento de quase a totalidade de seus habitantes.

Além dos impactos ocasionados pelo consumo de água com qualidade inadequada, diversos estudos têm mostrado a importância da poluição atmosférica, em trazer efeitos negativos sobre a mortalidade geral (POPE et al., 1995) quanto na mortalidade por causas específicas como câncer, bem como, por doenças respiratórias e cardiovasculares (ANDERSON et al., 1996). Os efeitos sobre a morbidade também foram observados, incluindo o aumento do número de internações por doenças cardiovasculares e respiratórias (ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2006).

Na região amazônica, o processo de ocupação do território acarretou mudanças na forma de uso do solo, motivando o desmatamento de grandes áreas florestais até aproximadamente o ano de 2003. A partir de 2004, houve redução em cerca de 79% da taxa de desmatamento devido à criação pelo Governo Federal do “Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal” (BRASIL, 2016). Entretanto, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas (INPE) em 2017, nos últimos dois anos as queimadas na região voltaram a crescer, especialmente no estado do Pará o qual vem liderando com maiores taxas de desmatamento na Amazônia (INPE, 2017). Essas alterações no uso do solo são responsáveis por emissões significativas de Material Particulado Atmosférico (MPA) e exercem uma série de efeitos diretos e indiretos no funcionamento do ecossistema amazônico e na saúde da população (IGNOTTI et al., 2010).

Estudos na região amazônica mostram associações positivas entre exposição ao MPA emitido por queimadas florestais e aumento do número de casos de adoecimentos e internações hospitalares por doenças respiratórias em regiões localizadas ao sul da bacia, na região do Arco do Desmatamento (MASCARENHAS et al, 2008; ROSA et al., 2008; SILVA et al., 2010). Nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos, até a elaboração final desta tese, não foram encontrados trabalhos que envolvessem o estudo de MPA e saúde humana. O estudo das características do MPA, especialmente a determinação da sua concentração na atmosfera e a composição química, são ferramentas importantes que auxiliam da prevenção de doenças humanas associadas a sua exposição.

Diante do exposto nessa introdução, essa tese contém, a seguir, uma revisão da literatura sobre a relação entre saúde e ambiente, enfocando-se os efeitos adversos da exposição a poluição da água e do ar em saúde humana. Neste tópico são abordados quatro assuntos: (i) uma revisão sobre a interface saúde e ambiente, apontando para os conceitos gerais sobre saúde ambiental e que na perspectiva da promoção a saúde o meio ambiente é considerado um determinante em saúde; (ii) sobre água utilizada para consumo humano e suas implicações na saúde humana, considerando a água como um recurso vital e que deverá atender padrões de potabilidade para consumo humano com ausência de agentes biológicos e químicos que causem efeitos adversos à saúde humana; (iii) sobre o MPA e suas implicações para a saúde humana, ponderando que a poluição atmosférica representa um dos maiores problemas de saúde na atualidade e que determina quadros de morbidade e mortalidade relevantes em populações expostas e (iv) sobre os conceitos gerais da metodologia de avaliação de risco proposta pela Agência Americana de Proteção Ambiental (do inglês *United States Environmental Protection Agency* – USEPA) como uma ferramenta relevante na quantificação de riscos de exposição ambiental. Posteriormente, no tópico 3 são apresentados os objetivos e no tópico 4 os procedimentos metodológicos adotados. No tópico 5 apresenta-se os resultados e as discussões e, por fim, no tópico 5 apresentam-se as conclusões. Nos Apêndices encontram-se os materiais construídos em decorrência da tese, como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o termo de assentimento do menor e o questionário utilizado para coleta de dados. Nos Anexos constam os documentos comprobatórios como o aceite desta pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), os aceites de execução pelas secretarias municipais de educação para a realização desta pesquisa nas escolas e os boletins analíticos completos das análises químicas das águas e do MPA.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Interface saúde e ambiente

Melhorar o ambiente para promover saúde e bem-estar. Esta foi a principal mensagem emitida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em seu relatório sobre saúde e ambiente publicado para tratar de estratégias e intervenções que auxiliam a eliminar e ou reduzir os perigos a saúde advindos do meio ambiente (WHO, 2016). A partir desse documento, verificou-se que 23% das mortes globais e 26% das mortes entre crianças menores de cinco anos ocorrem em decorrência de fatores ambientais modificáveis. Os acidentes vasculares cerebrais, doenças cardíacas isquêmicas, doenças respiratórias, doenças diarreicas agudas e cânceres são as enfermidades que lideram as casuas de mortes relacionados ao meio ambiente (WHO, 2016).

A interrelação entre ambiente e saúde denomina-se “Saúde Ambiental”. Esta é por sua vez, uma subárea do conhecimento, pertencente a Saúde Pública (BRASIL, 2007). Trata-se, portanto, de um amplo campo de estudo, que envolve profissionais de diversas formações acadêmicas e técnicas, tanto das áreas biológicas quanto das ciências da natureza, humanas e das ciências exatas com abordagem interdisciplinar. A interdisciplinaridade em saúde apresenta-se como uma proposta inovadora na produção do conhecimento e uma alternativa ao modo disciplinar. Na interdisciplinaridade, segundo Kuhn (1990), deve-se ir além do vazio existente entre as fronteiras das disciplinas para se estudar fenômenos complexos de diferentes naturezas. A interdisciplinaridade busca responder problemas gerados pelo próprio avanço da ciência moderna e disciplinar, que se caracteriza como fragmentadora e simplificadora do real (ALVARENGA et al., 2011).

O modelo vigente em saúde predominante atual é hospitalocêntrico e centrado na cura da doença, denominado biomédico. Nele, observa-se a fragmentação do cuidado do indivíduo atribuído às especialidades médicas com a predominância do trabalho multidisciplinar no atendimento ao cliente, de forma fragmentada, simplificada e pouco resolutiva. Na interdisciplinaridade garante-se a qualidade da assistência prestada ao usuário de saúde e considera-se a perspectiva holística em integrar conhecimentos, incluindo aqueles relacionados ao meio ambiente, de diversos profissionais com intuito de Promover a saúde.

Segundo Teixeira (2006), o debate sobre Promoção da Saúde, insere-se no contexto internacional e nacional de busca de alternativas à crise dos sistemas de serviços de saúde vigentes, cujas raízes encontram-se parcialmente estruturadas na reprodução de concepções e

práticas cada vez mais insuficientes e inadequadas face as mudanças demográficas, epidemiológicas, políticas e culturais das sociedades contemporâneas.

A promoção da saúde, como vem sendo entendida nos últimos 20-25 anos, é uma estratégia promissora para enfrentar os múltiplos problemas de saúde que afetam as populações humanas e seus entornos. Ela parte de uma concepção ampla do processo saúde-doença e de seus determinantes, propõe a articulação de saberes técnicos e populares, e a mobilização de recursos institucionais e comunitários, públicos e privados, para seu enfrentamento e sua resolução (BUSS, 2000). Desse modo, está pautada por um conjunto de valores (vida, saúde, solidariedade, equidade, democracia, cidadania, desenvolvimento sustentável e participação social) referindo-se a um somatório de estratégias que devem envolver a ação do Estado (políticas públicas saudáveis), da comunidade (reforço da participação social), de indivíduos (desenvolvimento de habilidades pessoais), do sistema de saúde (reorientação dos serviços de saúde) e de parcerias interinstitucionais, com a responsabilidade múltipla dos problemas e soluções propostas (BUSS, 2003).

As propostas contempladas no ideário da promoção à saúde vêm, impulsionando debates acerca da mudança do modelo de atenção à saúde no Sistema Único de Saúde (SUS), com a busca da integralidade das ações e serviços de saúde, ou seja, com a implantação de um modelo centrado na articulação de um conjunto heterogêneo de práticas voltadas ao controle dos determinantes, dos riscos e danos à saúde individual e coletiva da população (PAIM, 1994; 2003). Nesse mesmo sentido, a Política Nacional de Promoção a Saúde de 2010, do Ministério da Saúde, reforça a saúde, como produção social de determinação múltipla e complexa em que se deve levar em conta as diferenças territoriais, ambientais e culturais presentes em nosso País visando a equidade no cuidado em saúde (BRASIL, 2010).

Dentro das reflexões teóricas e epistêmicas da promoção da saúde, a abordagem interdisciplinar é um dos requisitos mais frequentemente citados no tocante à resolutividade dos problemas de saúde (RAMOS, 2013). O meio ambiente deve ser considerado um dos componentes nos determinantes da saúde. Entretanto, no Brasil ainda não se formalizou a política de saúde ambiental, mas o Ministério da Saúde vem dando atenção ao assunto desde 1998 quando conduziu um processo de elaboração dessa política e concretamente vem atuando por intermédio da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e atualmente pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), por meio da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde (CGVAM). Em 2007, o Conselho Nacional de Saúde, em parceria com a CGVAM e a Comissão Permanente de Saúde Ambiental, do Ministério da Saúde (COPESA), lançou o

documento “Subsídios para a construção da Política Nacional de Saúde Ambiental”, num esforço para o estabelecimento de um documento legal sobre o tema (RADICCHI; LEMOS, 2009).

A Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO), também reconheceu a importância de organizar um Grupo Temático “Saúde e Ambiente”, no V Congresso Brasileiro de Epidemiologia, ocorrido em 2002. O grupo de trabalho tem focado na perspectiva de construção de uma política de saúde ambiental no SUS através de reflexões teóricas e da colaboração direta com as ações de vigilância em saúde ambiental visando atender a demanda de capacitação técnica para a rede de saúde Estadual e Municipal.

Nesse contexto, o Ministério da Saúde vem implementando um Sistema de Vigilância em Saúde Ambiental desde 2002 com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou outros agravos à saúde. A Vigilância Ambiental em Saúde dispõe de informações específicas dos seguintes sistemas: Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Fatores Biológicos; Sistema de Informação de Vigilância em Saúde de Contaminantes Ambientais; Sistema de Informação de Vigilância em Saúde Relacionado à Qualidade da Água de Consumo Humano (SISÁGUA); Sistema de Informação de Vigilância em Saúde Relacionado à Qualidade do Ar (SISAR); Sistema de Informação de Vigilância em Saúde Relacionado à Qualidade do Solo (SISSOLO); Sistema de Informação de Vigilância em Saúde Relacionado a Desastres Naturais e o Sistema de Informação de Vigilância em Saúde Relacionado a Acidentes com Produtos Perigosos (BRASIL, 2002).

A Vigilância em Saúde da qualidade da água de consumo humano visa garantir ações no País que propiciem à população o acesso à água com qualidade compatível com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, a Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde. Essa Portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011a).

Quanto à Vigilância em Saúde da qualidade do ar, esta objetiva proteger a população dos perigos da exposição da poluição atmosférica. Dentro dos objetivos específicos das ações de vigilância estão o monitoramento sistemático da qualidade da água e do ar e o gerenciamento dos riscos à saúde (BRASIL, 2002). Para isso, os padrões nacionais foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e aprovados inicialmente pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução CONAMA nº 03 de 1990 (BRASIL, 1990).

A evolução dos conhecimentos técnicos e científicos no campo das ciências atmosféricas, conduziu, nesse período, a União Europeia e os Estados Unidos à revisão de suas referências, com a atualização dos valores dos padrões adotados, assim como a inclusão de novos parâmetros. Em 2005, a OMS publicou documento com uma revisão dos valores-guia para os poluentes atmosféricos visando à proteção da saúde da população, à luz dos conhecimentos científicos adquiridos (WHO, 2005). Em 2008, o estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo (BRASIL, 2013).

Segundo os autores Barcellos e Quitério (2006), a incorporação dessas ações de vigilância ambiental no campo da saúde no Brasil é um desafio ainda a ser superado. Um dos principais pontos críticos vem sendo a definição do seu objeto de atuação e a especificidade de suas ações. Entre as dificuldades encontradas para sua efetivação no SUS, estão a necessidade da formação de equipes com capacidade de diálogo com outros setores, além da construção de sistemas de informação capazes de auxiliar a análise de situações de saúde e na tomada de decisões.

Na região Norte do país, as ações de vigilância ambiental em saúde ainda permanecem incipientes com poucos resultados sobre indicadores disponibilizados até o momento. No Pará, segundo a Secretaria de Saúde do Estado do Pará (SESPA), apenas o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) teve seu início em 2005, e capacitou 170 técnicos regionais e municipais para o uso do SISAGUA que está implementado em 69 (48,3%) municípios do Pará (SESPA, 2015). Atualmente, o estado do Pará conta com 11 Laboratórios de Provas Básicas de Água, sendo um deles localizado em Santarém, e analisam os parâmetros bacteriológicos (coliformes totais e fecais) e análises físico-químicas de potencial hidrogeniônico (pH), cor, turbidez e cloro residual (SESPA, 2015).

Na Amazônia, a problemática da relação saúde e meio ambiente apresenta determinantes particulares, pelas características diferenciadas de outras regiões do país como o baixo processo de industrialização da região, pela presença de imensa floresta tropical, pela abundância de recursos hídricos e minerais, rica biodiversidade e rápido processo de urbanização. A área temática da saúde ambiental na Amazônia apresenta elementos particulares

para sua estruturação, necessitando de metodologias e indicadores especiais, voltados para captar componentes específicos dessa região que são determinantes no processo saúde-doença da população e no meio ambiente (COUTO, 1999).

Nesse cenário, destaca-se a importância do debate e implementação de ações de Vigilância em Saúde Ambiental voltadas para o contexto Amazônico. A partir do I Fórum de Determinantes Sociais em Saúde (DSS) no Oeste do Pará em 2016 promovido pelo Instituto de Saúde Coletiva (ISCO) da UFOPA, questões ambientais e saúde foram levantadas e discutidas como pontos cruciais na promoção da saúde a populações residentes na Amazônia. Dentre os principais cenários amazônicos abordados como possíveis impactantes na saúde humana, foi ressaltado (i) aumento das atividades de extração e transformação de minérios (ex. ferro e bauxita) e a contaminação de solos, recursos hídricos e atmosfera podendo ocasionar intoxicações em populações; (ii) a expansão não sustentável do agronegócio comprometendo a segurança alimentar e promovendo poluição de recursos ambientais, bem como, o uso indiscriminado de agrotóxicos e (iii) a implantação de usinas hidrelétricas determinando novas condições do processo saúde-doença de grupos sociais ou novas configurações espaciais, configurando novos perfis epidemiológicos (STTR SANTAREM, 2016)

A ausência de ações específicas destinadas para os programas de Vigilância Ambiental em Saúde acarreta consequências diretas e indiretas na saúde pública, principalmente para as crianças, que são o grupo de maior vulnerabilidade aos efeitos ambientais. A OMS estima que, mundialmente, 1,7 milhões de mortes de crianças menores de cinco anos são atribuídas ao meio ambiente (WHO, 2016). Dessas 570 mil são por doenças respiratórias, 361 mil por doenças diarreicas, 270 mil por condições neonatais, 200 mil por malária e 200 mil por outras injúrias não intencionais (WHO, 2016). O ambiente afeta a saúde de crianças diferentemente dos adultos. As crianças apresentam frequência respiratória maior; estão mais em contato com meio ambiente devido atividades recreativas; ingerem mais água e consomem mais alimentos por quilo de peso corporal quando comparados aos adultos. Além disso, são mais propensas a colocar mais vezes as mãos na boca e podem não ser capazes de eliminar os contaminantes nocivos tão rapidamente quando comparados com adultos. A exposição a riscos ambientais pode afetar o crescimento e o desenvolvimento de uma criança. De acordo com o “*Center for Control Disease*” (CDC) o acompanhamento do desenvolvimento deverá ser realizado pelo monitoramento dos marcos do desenvolvimento das crianças, por profissionais de saúde capazes em detectar sinais e sintomas de exposição a contaminantes ambientais (CDC, 2017).

2.2 Água para consumo humano

A água é considerada o recurso natural e ambiental de maior relevância disponível para o consumo da humanidade (ONU, 2007). A água pode ser utilizada para inúmeras finalidades pela população, dentre elas, para o uso doméstico, irrigação na agricultura, processos industriais, em serviços de saúde, geração de energia elétrica e turismo, fato que a torna uma preocupação mundial diante das ameaças de escassez, uso irracional e risco de contaminação.

Para o organismo humano, a água é um componente fundamental, visto que, todas as funções celulares dependem de um meio fluido. A água compõe cerca de 60% a 70% do peso corporal total de um indivíduo. As crianças menores de um ano até três anos, têm maior porcentagem de água no corpo, sendo menor nas pessoas mais velhas. Um indivíduo em condições fisiológicas normais, supre as suas necessidades diárias de fluídos pela ingestão de líquidos e alimentos sólidos contendo água, como por exemplo, através de frutas e vegetais (POTTER; PERRY, 2009). De acordo com a OMS (2004), a exigência mínima de consumo diário de água de um adulto é de 3 L por dia, ou 43 ml por quilograma de peso corporal. Essa demanda aumenta para indivíduos que vivem em climas tropicais, para o equivalente a 4,1 a 6 L por dia, ou 58,6 a 85,7 mL por quilograma de peso corporal. As crianças apresentam padrões diferentes, geralmente aquelas com idade de 1 ano até 3 anos requerem 1,3 L de água por dia, crianças de 4 a 13 anos em média necessitam de 2,0 L de água por dia e de 14 a 18 anos devem consumir em torno de 2,8 L de água por dia para garantir um estado fisiológico de hidratação (WHO, 2004).

Quanto ao uso doméstico da água, a população a utiliza para uma ampla variedade de atividades, sendo elas: para beber, higiene pessoal, lavanderia e cozinhar. Em geral, uma pessoa utiliza 7,5 L por dia de água para todas essas atribuições. A quantidade de água necessária para uso doméstico e ingestão é muito menor quando comparada a quantidade de água utilizada pelo setor agrícola e pelas atividades industriais. A agricultura, é o ramo que mais consome água, responde pelo consumo de aproximadamente 70% de toda a água doce do mundo enquanto o setor industrial responde pelo gasto de 20% da água (WHO, 2004).

Para abastecer toda essa demanda mundial, a água poderá ser obtida de diferentes fontes, dentre elas a partir de mananciais subterrâneos. O Brasil, é um dos países mais ricos em termos de recursos hídricos do mundo e cerca de 44% dos municípios brasileiros são abastecidos exclusivamente por mananciais subterrâneos e 56% por águas superficiais (ANA, 2010). O abastecimento subterrâneo se faz por meio de poços rasos ou profundos. No primeiro a água é

captada do aquífero não confinado ou livre, que fica mais próximo a superfície e mais suscetível a contaminação. No segundo, a água é captada do aquífero confinado, que se encontra em um nível mais profundo e mais protegido (por camadas do solo e rochas), o que dificulta a sua contaminação (WHO, 2006).

Segundo dados da ANA (2010), os aquíferos subterrâneos ocupam 48% da área territorial do Brasil. Dentre os aquíferos brasileiros, o sistema aquífero Alter do Chão, é um dos mais volumosos e se estende pelos estados do Amazonas, Pará e Amapá com potencial de até o dobro do Aquífero Guarani. Os dados sobre o Aquífero Alter do Chão ainda são incipientes e tomaram maiores proporções a partir de 2010 devido aos trabalhos conduzidos por pesquisadores da Universidade Federal do Pará (UFPA) (ANA, 2010). O sistema aquífero Alter do Chão, apresenta dois sistemas de aquíferos principais. A parte superior é constituída por um aquífero denominado de livre (menos profundo e abaixo do lençol freático) e a parte mais profunda por aquíferos confinados. Os dados obtidos através do inventário hidrogeológico realizado por Tancredi (1996) indicam espessuras médias de 50 m para o aquífero livre e 430 m para os aquíferos confinados. Os dois sistemas aquíferos estão separados por estratos argilosos no intervalo de 44 m a 80 m de profundidade (TANCREDI, 1996). Na Figura 1, é indicada a localização dos aquíferos Alter do Chão e do Aquífero Guarani.

O abastecimento de água para consumo humano na região Amazônica é muito favorecido pelo volumoso aquífero Alter do Chão. O consumo humano por águas subterrâneas é uma demanda crescente nas cidades da Amazônia, por ser opção economicamente viável frente a um crescimento acelerado, por se um recurso de boa qualidade natural (exige pouco tratamento sanitário) e com baixo custo de captação. Entretanto, a OMS vem alertando, que mesmo a água sendo de origem subterrânea, poderá estar relacionada com a veiculação de agentes microbiológicos e compostos químicos que causam distúrbios e são determinantes em perfis epidemiológicos de saúde da população (WHO, 2017). Os fatores envolvidos na contaminação de águas subterrâneas podem ser de origem natural, devido a interação da água com rochas, ou de origem antrópica, em decorrência, por exemplo, de contaminação por dejetos sanitários e efluentes industriais que percolam em camadas do subsolo e atingem coleções hídricas subterrâneas (WHO, 2017).

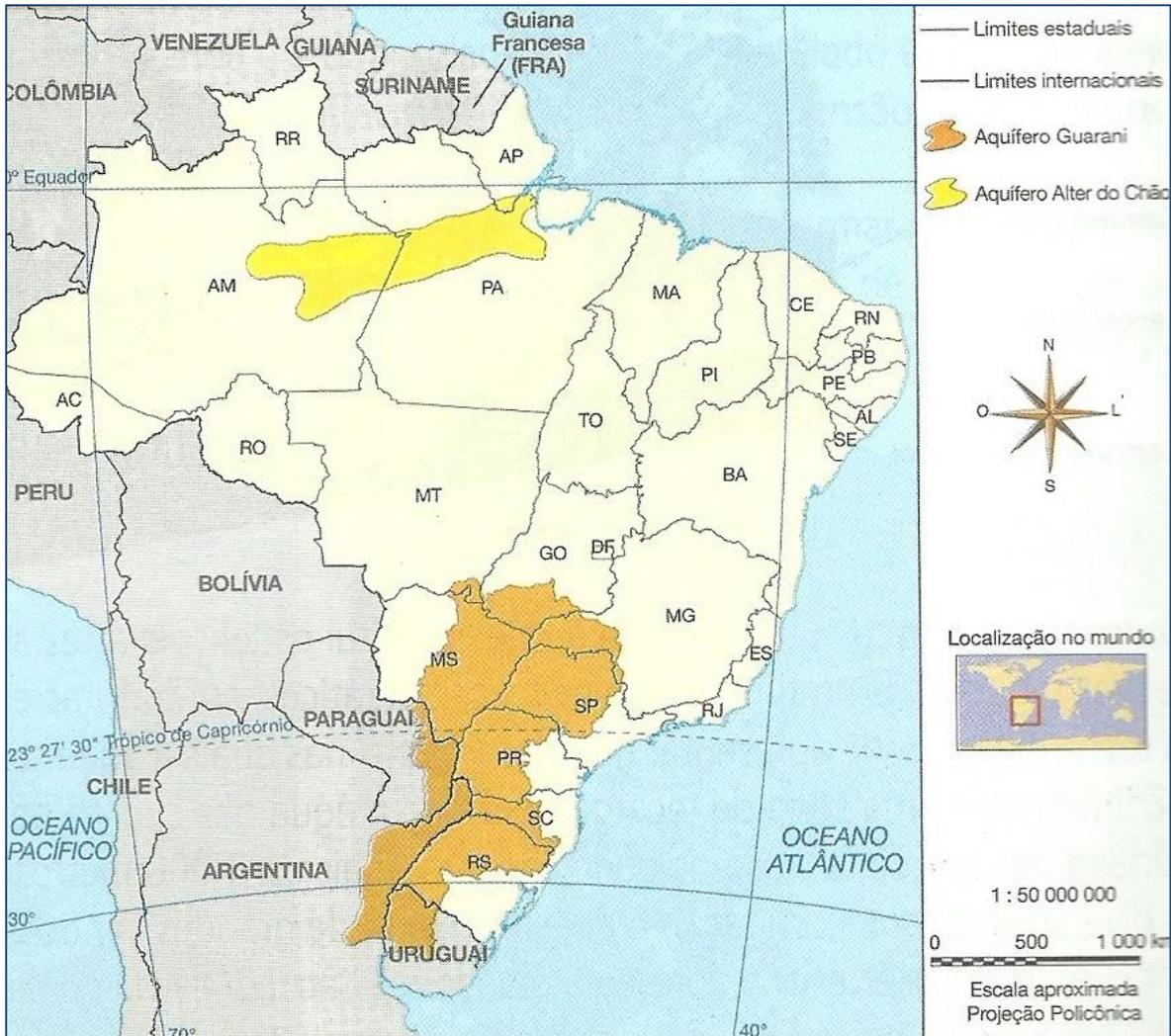


Figura 1. Localização do aquífero Alter do Chão e do aquífero Guarani no Brasil.

(REBOUÇAS, BRAGA, TUNDISI, 2006)

A qualidade inadequada das águas, incluindo as de origem subterrâneas, vem sendo relacionada mundialmente às doenças denominadas de “veiculação hídrica”, geralmente, são de origem biológica e afetam todas as nações. Os surtos de doenças transmitidas pela água, como as Doenças Diarreicas Agudas (DDAs) e casos de hepatite A, continuam a ocorrer predominantemente em países em desenvolvimento, ocasionando quadros de mortalidade, morbidades evitáveis e custos econômicos elevados para indivíduos e sociedades (WHO, 2006). A possibilidade de surtos e doenças associadas a água, ocorre devido à grande parte da população Mundial ainda ser desprovida de sistemas de distribuição de água considerados satisfatórios. Por exemplo, segundo a OMS e a população Mundial é estimada em 7,5 bilhões de pessoas no ano de 2011, estimando-se que dessas 2,4 bilhões de pessoas em todo o mundo

ainda usam instalações de abastecimento hídrico inadequadas e ultrapassadas, ou seja, que apresentam riscos de contaminação da água. A grande maioria dessa população vive nas regiões consideradas mais vulneráveis como o Sul da Ásia (40%); África subsaariana (29%); Sudeste e Oriente da Ásia (21%); Latino América e Caribe (4,5%) (WHO, 2011). A OMS e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) em 2015 estipularam como meta até o final do ano de 2025, o acesso à água e saneamento para todos; isto significaria que aproximadamente 2,9 milhões de pessoas ainda deverão ser atendidas com melhoria do sistema de abastecimento de água e mais de 4,2 bilhões com ações de saneamento e abastecimento de água (WHO - UNICEF, 2015).

Boa parte dessas metas ainda não foram mundialmente atingidas e as doenças de veiculação hídrica continuam a ser uma das principais preocupações com a saúde de todos os povos (WHO, 2017). Por exemplo, as DDAs responderam por 1,8 milhões de mortes no mundo em 2002 (WHO, 2006). Em escala global, isso coloca a DDAs como a sexta maior causa de mortalidade e como terceira na lista de morbidades que mais acometem a população mundial. Este ônus em saúde é suportado principalmente pelas populações de países em desenvolvimento, tendo contribuído especialmente para o adoecimento e mortalidade de grupos mais vulneráveis como as crianças (WHO, 2006; BRASIL, 2014a).

2.2.1 Componentes biológicos na água de consumo humano e saúde

O papel dos microrganismos no ambiente aquático está vinculado a transformação da matéria dentro do ciclo dos diversos elementos. Tais processos são realizados com o objetivo de fornecimento de energia para a sobrevivência dos microrganismos. Um dos processos mais significativos é a decomposição da matéria orgânica, realizada principalmente por bactérias. Como produto final, obtém-se compostos minerais inorgânicos, como, por exemplo, nitratos, fosfatos e sulfatos que, por sua vez, são reassimilados por outros organismos aquáticos (BRASIL, 2006).

Dessa forma, o problema de transmissão de agentes biológicos presentes na água é particularmente importante no caso da contaminação das águas de abastecimento por microrganismos patogênicos. Por exemplo, algumas bactérias patogênicas como a *Eschechiria coli* (*E.coli*) podem estar presentes na água de consumo, em decorrência de fontes poluidoras como descargas de esgoto e disposição inadequada de resíduos sólidos, ou ainda, a partir da

manutenção inadequada dos reservatórios domiciliares e prediais de água (caixas d'água) (BRASIL, 2006).

A limpeza das caixas d'água é de competência do consumidor e deve ser realizada a cada 6 meses segundo as recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A ANVISA determina todos os procedimentos adequados para a limpeza periódica dos reservatórios domiciliares garantindo qualidade final na água de consumo humano. A população de um modo geral não é orientada corretamente sobre a necessidade de cuidados especiais de manutenção dos reservatórios domiciliares de água, o que acaba acarretando em danos à saúde do consumidor (ANVISA, 2004).

Segundo os autores Forattini e Brito (2003), determinados tipos de reservatórios domiciliares podem assumir papéis diferentes no contexto da saúde pública. Pode-se considerar os reservatórios domiciliares como sendo um importante criadouro de *Aedes aegypti*, pois propiciam excelentes condições para a criação do vetor, contribuindo assim para a manutenção de populações desse mosquito, mesmo em períodos não favoráveis, como nos meses de baixa precipitação. A manutenção inadequada dos reservatórios domiciliares, além de contribuir para a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, favorece a entrada de outros vetores como, por exemplo, baratas, pombos e ratos, além disso, os reservatórios domiciliares podem funcionar como sedimentadores de impurezas. As impurezas poderão ser trazidas pela própria rede de distribuição de água e/ou pela falta de manutenção e vedação dos reservatórios domiciliares. A matéria orgânica uma vez depositada no fundo dessas caixas poderá ocasionar a mudança do pH; alterações na cor e turbidez da água; diminuição da concentração de oxigênio e a criação de um meio suscetível a proliferação microbiana, denominado biofilme (JULIÃO, 2011).

A determinação individual da eventual presença de cada um dos microrganismos patogênicos em uma amostra de água não pode ser feita rotineiramente, uma vez que, envolveria a preparação de diferentes meios de cultura, tornando o procedimento complexo e financeiramente inviável. Na prática, segundo o Ministério da Saúde, por meio do Manual de Vigilância e Controle da Qualidade da Água para consumo humano (BRASIL, 2006), recomenda-se a utilização de organismos facilmente identificáveis, cuja ocorrência na água está correlacionada a presença de organismos patogênicos, ou seja, são chamados de organismos indicadores da qualidade da água. O grupo mais importante de organismos indicadores são as bactérias do grupo dos coliformes totais. Alguns estudos relacionam a ocorrência de surtos de doenças com a presença desse grupo bacteriano em água de consumo humano (POKHREL; VIRARAGHAVAN, 2004; CUEVAS et al., 2014). Embora, as águas subterrâneas provenientes

de aquíferos sejam mais protegidas, os autores Lee et al. (2002) identificaram 17 surtos de doenças na população relacionadas a qualidade microbiológica da água nos Estados Unidos entre 1999 a 2000 a partir do consumo de água subterrânea não tratada.

As bactérias do grupo coliformes totais incluem uma ampla gama de anaeróbios aeróbicos e facultativos, bacilos gram-negativos, não esporulados, capazes de crescer na presença concentrações relativamente elevadas de sais biliares com fermentação de lactose e produção de ácido ou aldeído dentro de 24 horas a 35-37 °C. Os coliformes totais incluem um grande número de microrganismos que são capazes de sobreviver e crescer em água, por isso, não são úteis como indicador de patógenos fecais, mas podem ser usados para avaliar a limpeza e integridade dos sistemas de distribuição e a presença potencial de biofilmes. O grupo de coliformes totais em geral não representam danos em saúde por, também, pertencerem a microbiota intestinal de seres humanos. Coliformes totais são muito mais sensíveis à desinfecção do que os vírus entéricos e protozoários. As bactérias coliformes totais (excluindo *E. coli*) ocorrem em águas residuais e naturais. Algumas dessas bactérias são excretadas nas fezes de seres humanos e animais, mas muitas podem se multiplicar em ambientes de água e solo independentemente. Os coliformes totais sobrevivem e crescem nos sistemas de distribuição de água, particularmente na presença de biofilmes (WHO, 2017). Para padrões de potabilidade, a Portaria brasileira do Ministério da Saúde 2914 recomenda a ausência de coliformes totais em água para consumo humano (BRASIL, 2011a).

As bactérias *E.coli* são consideradas como indicadores específicos de contaminação fecal, pois são microrganismos pertencentes a microbiota intestinal de mamíferos e seres humanos exclusivamente. A *E. coli* está presente em grande número em esgotos e águas que sofreram poluição fecal recente e sobrevive em condições aeróbicas e anaeróbicas (WHO, 2017). A maioria das cepas de *E. coli* são inofensivas mas indicam que a água apresentou contato com fezes e outros microrganismos de origem fecal podem estar presentes na água. Entretanto, algumas cepas de *E. coli* são patogênicas e podem trazer efeitos nocivos ao organismo humano como as produtoras de toxina *Shiga* relacionadas ao sorotipo O157:H7 (WHO, 2006).

As cepas produtoras de toxinas *Shiga* (devido à sua semelhança com as toxinas produzidas por *Shigella dysenteriae*) podem crescer em temperaturas variando de 7 - 50 °C, com uma temperatura ideal de 37 °C. Algumas cepas podem crescer em alimentos e águas ácidas de pH de até 4,4. Mas em geral, são destruídas por cozimento completo de alimentos ou fervura da água. O sorotipo O157: H7 é o de maior relevância para a saúde. Entretanto outros

sorotipos são frequentemente envolvidos em casos esporádicos e surtos. Os sintomas incluem cólicas abdominais e diarreia que, em alguns casos, podem progredir para colite hemorrágica. Febre e vômitos também podem ocorrer. O período de incubação pode variar de 3 a 8 dias. A maioria dos pacientes recupera-se dentro de 10 dias, mas em uma pequena proporção de pacientes (particularmente crianças pequenas e idosas), a infecção pode levar a uma doença que ameaça a vida, conhecida como a síndrome urêmica hemolítica, caracterizada por insuficiência renal aguda, anemia hemolítica e trombocitopenia (plaquetas sanguíneas baixas) (WHO, 2006). A Portaria 2914 do Ministério da Saúde recomenda a ausência de qualquer sorotipo de *E.coli* em água para consumo humano (BRASIL, 2011a).

Em geral, as amostras provenientes de poços subterrâneos privados rasos são mais passíveis de contaminação por coliformes totais e *E.coli* do que as amostras de água de poços subterrâneos públicos profundos captados do aquífero confinado, mesmo não sendo tratadas (INVIK et al., 2017).

As bactérias denominadas heterotróficas são indicadores da qualidade e integridade do abastecimento da água. Alterações bruscas ou acima do usual na contagem de bactérias heterotróficas devem ser investigadas para identificação de irregularidades e providências devem ser adotadas para o restabelecimento da integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede), recomendando-se que não se ultrapasse o limite de 500 Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por mL (BRASIL, 2011a). Esses microrganismos necessitam de carbono orgânico para o seu crescimento, prestando-se ao papel de indicador auxiliar da qualidade da água por fornecer informações sobre falhas na desinfecção e indicar colonização e formação de biofilmes no sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2006). Em geral, não ocasionam efeitos patogênicos em saúde humana. Eles ocorrem em grande quantidade em fontes de água superficiais e são sensíveis a práticas de desinfecção como a cloração. Contudo, na prática, nenhum dos processos de desinfecção esteriliza a água e na ausência de resíduos desinfetantes as bactérias heterotróficas crescem rapidamente. Os principais fatores determinantes do crescimento são a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, incluindo carbono orgânico assimilável, falta de resíduos desinfetantes e estagnação da água (WHO, 2017).

Além dos microrganismos de origem bacteriana, outra forma de contaminação relacionada com a água, refere-se à presença de protozoários e helmintos causadores de infecções parasitárias no homem, especialmente em crianças. Dentre as doenças causadas por protozoários podem ser citadas a amebíase (*Entamoeba histolytica*), a giardíase (*Giardia*

lamblia) e a Criptosporidíase (*Cryptosporidium parvum*). Embora a presença desses microrganismos seja mais frequente em águas superficiais, na literatura, existem relatos da presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* em águas subterrâneas e em águas superficiais, incluindo lagos, mares e rios, bem como em água tratada (PLUTZER et al., 2008; SUNDERLAND et al., 2007).

A análise de protozoários como *Cryptosporidium* e *Giardia* em amostras de água traz uma série de desafios científicos e tecnológicos, uma vez que as metodologias reconhecidas internacionalmente são de alta especificidade tecnológica e alto custo, o que leva laboratórios no Brasil a implementarem essas análises de forma incipiente. O método proposto pela USEPA em 2005, para detecção de *Cryptosporidium* e *Giardia* em água, é reconhecido internacionalmente por sua alta eficiência e inclui as fases de concentração, separação imunomagnética e microscopia de imunofluorescência (USEPA, 2005). Sabe-se, porém, que para sua implementação é requerida vasta experiência por parte dos analistas e investimentos econômicos consideráveis, levando em conta o alto custo dos insumos e dos equipamentos utilizados, tornando-se, assim, pouco acessível a muitos laboratórios.

As helmintíases intestinais podem, também, ser transmitidas pela água, como por exemplo a ascaridíase (*Ascaris lumbricoide*), embora menos frequente. Além disso, a água poderá estar envolvida na transmissão de algumas doenças endêmicas, atuando como ambiente propício ao ciclo evolutivo de vetores responsáveis pela propagação da malária, dengue, filariose e febre amarela (BRASIL, 2014). A contaminação do sujeito acontece por parasitas e ocorre pela via fecal-oral, ou seja, os parasitas intestinais infectam o homem através da ingestão de água sem tratamento ou deficientemente tratada e através de hábitos precários de higiene, como por exemplo, a ausência de lavagem das mãos o que pode infectar o homem e causar graves prejuízos ao organismo humano (NEVES, 2005). Os danos que os enteroparasitas podem causar a seus portadores incluem, entre outros agravos, a obstrução intestinal, desnutrição, anemia por deficiência de ferro e quadros de diarreia e de má absorção, sendo que as manifestações clínicas são usualmente proporcionais à carga parasitária albergada pelo indivíduo (STEPHENSON, 1987).

Em relação aos vírus mais comumente encontrados nas águas de consumo humano impróprias destacam-se os da poliomielite (poliovírus) e o da Hepatite (tipo A e E) (WHO, 2011). Os poliovírus pertencem ao gênero *Enterovírus* e causam a poliomielite, caracterizada por ser uma doença aguda com febre, mal estar, cefaleia, distúrbios gastrointestinais, rigidez na nuca, acompanhadas ou não de paralisia (JULIÃO, 2011). Atualmente, com a vacina da

poliomielite, a incidência da doença é praticamente nula no mundo. No entanto, a presença desse microrganismo na água pode ser decorrente da excreção pelas fezes de crianças vacinadas, em que a água pode atuar como agente de contaminação a partir de cepas virais provenientes de crianças imunizadas (GONZALEZ et al., 2006).

As Hepatites do tipo A e tipo E, apresentam como via de contágio a fecal-oral, por contato inter-humano ou por meio de água e alimentos contaminados. A disseminação está relacionada com a precariedade da infraestrutura de saneamento básico e condições de higiene praticadas. Nas regiões com maior precariedade de saneamento básico e de tratamento da água, as pessoas apresentam maiores possibilidades de exposição ao vírus, principalmente crianças, apresentando formas subclínicas ou anictéricas da doença. Na maioria dos casos, as hepatites transmitidas pela água, são autolimitadas e de caráter benigno, sendo que a insuficiência hepática aguda grave ocorre em menos de 1% dos casos. Esse percentual é maior em pacientes idosos (BRASIL, 2016a).

2.2.2 Compostos químicos na água de consumo humano e saúde

A água de consumo humano naturalmente ou em consequência de atividades antrópicas apresenta elementos químicos na sua composição (WHO, 2017). Os principais compostos químicos iônicos presentes naturalmente nas águas para consumo são: o bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), o sulfato (SO_4^{2-}) e o cloreto (Cl^-) e os cátions cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e o sódio (Na). Em menores concentrações estão os ânions fluoreto (F^-) e brometo (Br^-) e, uma grande variedade, de metais, como por exemplo o zinco (Zn), ferro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu), manganês (Mn), entre outros, que são predominantemente cátions e que se encontram em nível de elementos traço na água (WHO, 2017).

A água consumida pela humanidade representa uma fonte importante dos elementos chamados de essenciais para a saúde humana como o Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, Zn, entre outros (BOWMAN, BOBROWSKY, SELINUS, 2003). Todos os organismos vivos dependem de uma faixa específica de tolerância desses elementos ou faixa de exposição que seja adequada e segura para consumo humano. Os níveis desses elementos em concentrações insuficientes ou excessivos podem levar a efeitos adversos para a saúde e, em certos casos, até a morte (BOWMAN, BOBROWSKY, SELINUS, 2003). Para alguns metais, os efeitos adversos à saúde advêm principalmente da sua deficiência no organismo, como é o caso do Fe, Zn e Cu, que cumprem importantes funções em muitas reações bioquímicas essenciais ao funcionamento

do organismo. Por outro lado, metais e outras substâncias químicas ingeridas em doses excessivas através da água de consumo podem, também, causar danos à saúde. No mundo, alguns exemplos de metais e semi-metais em água de consumo humano têm atraído a atenção de especialistas por seu caráter altamente tóxico para a saúde. Dentre esses compostos químicos, citam-se o alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), manganês (Mn) e níquel (Ni). Os efeitos desses elementos químicos na saúde humana, geralmente, decorrem da sua exposição prolongada e, em situações particulares, os efeitos a curto prazo podem ocorrer, e relacionam-se, normalmente com casos acidentais de contaminação maciça da água (WHO, 2017).

O Al é considerado um metal abundante na crosta terrestre, sendo encontrando na natureza geralmente associado a outros elementos como o oxigênio e silício (WHO, 2003). A maioria dos compostos contendo Al são poucos solúveis em água, porém águas ácidas com pH abaixo de 5,0 podem favorecer esse processo (EDMUNDS; SMEDLEY, 1996; WHO, 2003a). Segundo o perfil toxicológico do Al publicado em 2008 pela Agência Americana de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR), a concentração de Al em águas para consumo, em geral, é de 0,1 mg/L e nesse valor não traz implicações em saúde de quem a consome (ATSDR, 2008). Ainda segundo o mesmo documento, exposições orais de animais a concentrações superiores a esse valor, mostraram que o sistema nervoso de ratos foi sensível a toxicidade desse elemento (ATSDR, 2008). Segundo Walton (2014) e Campbell et al. (1999) o Al ingerido excessivamente acumula-se particularmente em células dependentes de ferro a níveis tóxicos, desregulando a homeostase do ferro e causando depleção de microtúbulos, produzindo mudanças que resultam na desconexão de aferentes e eferentes neuronais, perda de função e atrofia regional, consistente com achados de ressonância magnética em cérebros de pessoas com doença de Alzheimer. A doença de Alzheimer é uma forma humana de neurotoxicidade crônica da exposição via oral ao Al (WALTON, 2014). Ainda com respeito à exposição oral excessiva de Al em animais, a OMS reportou em 2003 outros efeitos no organismo humano, menos comuns, como danos na função reprodutora e a possibilidade de efeitos mutagênicos (WHO, 2003).

O As é um semi metal que em elevadas concentrações na água de consumo (em geral superior a 0,01 mg/L) é considerado com cancerígeno (WHO, 2011). A via mais comum de exposição humana ao As é através da ingestão de água contaminada (WHO, 2011). Segundo Figueiredo (2010) outros efeitos não cancerígenos podem estar associados a exposição elevada ao As como hiperqueratose distúrbios do sistema nervoso, aumento da frequência de abortos

espontâneos e outras doenças graves. Considerando o limite de As em até 0,01 mg/L, estima-se que cerca de 14 milhões de pessoas na América Latina podem estar expostas ao consumo, a longo prazo, de água contaminada com As e ameaçadas por sérios problemas de saúde. Situações potencialmente perigosas na América do Sul são conhecidas, especialmente na Argentina, no Chile e no Peru (FIGUEIREDO et al., 2010).

Entre outros elementos químicos que causam preocupações em saúde, o Cd é um metal de transição que geralmente apresenta baixas concentrações em água de consumo, menores que 1 µg/L. A presença de Cd em concentrações superiores a esse valor é pouco comum e, quando ocorre, normalmente está associada a solubilização desse elemento a partir de encanamentos antigos com manutenção inadequada que favorecem a transferência de Cd para água (WHO, 2011). A ingestão excessiva de Cd através da água, produziu efeitos reprodutivos e mutagênicos observáveis em animais mamíferos (WHO, 2011). Disfunções ósseas e proteinúria foram observados em pessoas que consumiram água e alimentos contaminados por Cd em áreas do Japão (WHO, 2011). Além disso, o Cd apresenta alta toxicidade renal devido ao seu potencial irreversível de acumulação no sistema renal (WHO, 2006).

A água para consumo humano também poderá ser uma fonte possível de exposição ao Pb. A contaminação da água por Pb ocorre, normalmente, devido a dissolução do metal presente no material utilizado no sistema hidráulico (WHO, 2006). Elevadas concentrações de Pb no organismo humano poderá ocasionar quadros importantes de neurotoxicidade, especialmente em crianças expostas, originando implicações cognitivas e comportamentais relevantes. A legislação brasileira recomenda que a concentração de Pb na água de consumo não exceda a 0,01 mg/L (BRASIL, 2011a).

O Cr é um metal de transição que pode ser encontrado no meio ambiente em rochas, água, animais, plantas e no solo. Pode existir em diferentes formas químicas, sendo as mais comuns o Cr (III) e Cr (IV). O Cr (III) é um nutriente essencial que auxilia os processos metabólicos de energia corporal e não está relacionado a efeitos adversos em saúde (ATSDR, 2012). O Cr (IV) é a forma que apresenta aspectos toxicológicos relevantes para saúde humana, devido a sua fácil absorção pelas células intestinais e por acarretar efeitos adversos importantes em saúde. Dentre os efeitos da ingestão excessiva de Cr (IV) (acima de 0,1 mg/L) aponta-se para a irritação e úlceras no estômago e intestino delgado, anemia, danos espermáticos e no sistema reprodutor (WHO, 2006). Concentrações elevadas de Cr na água destinada para as atividades de higiene pessoal como tomar banho está relacionada a dermatites tóxicas e alergias

cutâneas (ATSDR, 2012). A legislação brasileira estabelece o valor máximo de 0,05 mg/L na água de consumo humano para todas as formas químicas de Cr.

O Mn ocorre naturalmente em águas subterrâneas em baixas concentrações (menores que 0,1 mg/L) e é considerado como um elemento essencial à saúde humana. Na indústria, o Mn é utilizado na fabricação de produtos como aço, na produção de baterias, como aditivo em gasolina, entre outros. A contaminação de águas subterrâneas por Mn está associada à disposição inadequada de resíduos sólidos contendo esse elemento químico no solo. Os efeitos em saúde estão relacionados a danos neurológicos, como alterações no comportamento e na capacidade de aprendizado e memória (ATSDR, 2012a).

A concentração de Ni na água subterrânea é muito baixa, em geral, menor do que 0,07 mg/L. O aumento da concentração de Ni na água de consumo humano poderá estar relacionado a sua lixiviação a partir de tubulações de aço utilizadas em sistemas de abastecimento hídrico e, também, devido ao uso de acessórios niquelados como torneiras cromadas de aço inoxidável (WHO, 2006). Segundo a ATSDR (2005) os efeitos adversos exposição oral a altos níveis Ni ainda é pouco conhecido. Em animais (camundongos e cães) que consumiram níveis excessivos de Ni através da água, apresentaram efeitos importantes a nível pulmonar, gástrico, hematológico, hepático, renal e reprodutivo (ATSDR, 2005).

Boro (B) é um semi metal e o Bário (Ba) um metal alcalino terroso, ambos são encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas (WHO, 2006). A concentração de B na água subterrânea, em geral, permanece menor do que 0,3 mg/L e é resultante da lixiviação de rochas e solos contendo boratos (WHO, 2003b). O B ingerido em excesso é associado com quadros agudos de vômitos, diarreia e dores abdominais (WHO, 2003a). Em relação ao Ba, a sua concentração máxima na água de consumo deverá ser de até 0,7 mg/L (BRASIL, 2011). O Ba não é considerado um elemento essencial a nutrição humana e quando ingerido em altas concentrações causa vasoconstrição devido seu potencial de estimulação em músculos arteriais (WHO, 2004a).

Ressalta-se que alguns compostos químicos iônicos, também são apontados por implicarem em efeitos adversos em saúde a partir do seu consumo excessivo pela água, como os fluoretos e o nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Em relação aos fluoretos, sabe-se que estes tornaram-se fundamentais na prevenção da cárie dentária. Porém o excesso deste íon pode acarretar uma doença conhecida como fluorose, que afeta as estruturas mineralizadas do corpo humano (dentes e ossos). O flúor não é considerado um elemento essencial à saúde humana; contudo pelo seu uso na prevenção à cárie dentária recebeu a designação de “elemento

benéfico” à saúde humana (SMITH; HUYPCH, 1999). O principal meio de ingestão de flúor se dá por meio do consumo de água. No Brasil alguns estudos têm relacionado as ocorrências de flúor em água subterrânea aos casos de fluorose dentária (VELÁSQUEZ et al., 2006; TOASSI; ABEGG, 2005; CARDOSO et al., 2001).

O NO_2^- e o NO_3^- , também, são compostos químicos que podem ocorrer em águas subterrâneas e merecem atenção. O NO_2^- e o NO_3^- , são íons de ocorrência natural em águas de consumo, por fazerem parte do ciclo do nitrogênio. A poluição de águas subterrâneas por esses compostos ocorre principalmente devido a sua contaminação por esgotos municipais e, em regiões agrícolas, pelo uso excessivo de fertilizantes nitrogenados no solo (JONES et al., 2016). Em geral, a água de consumo humano deverá apresentar valores de NO_2^- e de NO_3^- que não excedam 0,1 mg/L e 10 mg/L, respectivamente (BRASIL, 2011a). No organismo humano, o NO_2^- e NO_3^- consumidos em excesso através da água podem ser rapidamente absorvidos pelo sistema gástrico intestinal e ao atingirem a corrente sanguínea, são envolvidos principalmente em reações que modificam a estrutura da hemoglobina para uma forma não fisiológica, ocasionando a chamada metahemoglobinemia infantil (WHO, 2011). A metahemoglobinemia infantil é um dos efeitos mais graves relacionados a toxicidade do NO_3^- , a mudança estrutural da hemoglobina (Hb) para a forma metHb ocorre predominantemente em crianças expostas a doses elevadas crônicas (acima de 10 mg/L) (WHO, 2011). As crianças, principalmente nas menores de três anos de idade, são mais suscetíveis a esses efeitos devido às condições mais alcalinas no sistema gastrointestinal favorecer tais reações e em consequência da hemoglobina ser mais suscetível a essas modificações (WHO, 2011). Essa modificação estrutural da hemoglobina poderá, também, se chamada de síndrome do bebê ou criança azul, devido à baixa perfusão tecidual. Além disso, segundo Manassaram et al. (2007) a ingestão excessiva de NO_3^- poderá relacionar-se a outros efeitos em saúde como abortos espontâneos, restrições ao crescimento intrauterino e vários defeitos congênitos. Além disso, existe, também, a formação de nitrosaminas e nitrosamidas a partir da ingestão excessiva de NO_2^- e o NO_3^- que são substâncias potencialmente carcinogênicas (MEDEIROS; LIMA; GUIMARÃES, 2016).

Dessa forma, entende-se que o monitoramento biológico e de substâncias químicas, em conjunto com parâmetros de potabilidade físico químicos (ex. pH, alcalinidade, turbidez e condutividade) da água de consumo pela população se fazem necessários nas ações de vigilância em saúde ambiental.

2.3 O MPA e suas implicações para a saúde humana

O MPA é composto por partículas sólidas e líquidas de tamanhos variados, suspensas no ar que podem ser emitidas a partir de várias fontes como poeiras das ruas, emissões vulcânicas, aerossóis marinhos, queima de combustível fósseis e queimadas florestais (WHO, 2005). As frações inaláveis do MPA constituem, a fração grossa com partículas com diâmetro maiores que 2,5 μm até 10 μm (são em sua maioria derivadas do solo), a fração fina com partículas de diâmetro menor 2,5 μm e a ultrafina com partículas menores que 0,1 μm (são predominantemente derivadas da combustão de combustíveis fósseis e das queimadas florestais) (WHO, 2005; WHO, 2010). As partículas finas provenientes de atividade de combustão apresentam, em geral, concentrações importantes de compostos químicos, incluindo aqueles de origem orgânica como hidrocarbonetos e de origem inorgânica como metais, NO_3^- , cloreto, sulfato, entre outros (NEL, 2005).

Segundo a OMS (2016), estimativas recentes indicam que as emissões dessas partículas atmosféricas contendo diferentes compostos químicos, está aumentando. Durante o período de cinco anos (2008-2013), estimativas mostram que houve aumento mundial de 8% na concentração média anual de MPA fração fina, sendo que os países com renda per capita mais alta localizados principalmente nas Américas, Europa e Pacífico Ocidental mostraram tendência de queda nos níveis de poluição do ar, devido ao uso de legislações rigorosas sobre padrões de qualidade atmosférica. Entretanto, alguns países localizados no continente Asiático, Africano e América Latina a poluição do ar permanece como uma das piores do mundo, principalmente relacionada a emissão da fração fina do MPA (WHO, 2016a), em virtude de padrões restritivos de qualidade do ar. Nessas regiões, a maioria das concentrações anuais médias de MPA fração fina são superiores ao nível de orientação da OMS de até 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. As estimativas globais de concentração mássica média de partículas na atmosfera e $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fração fina é apresentada na Figura 2.

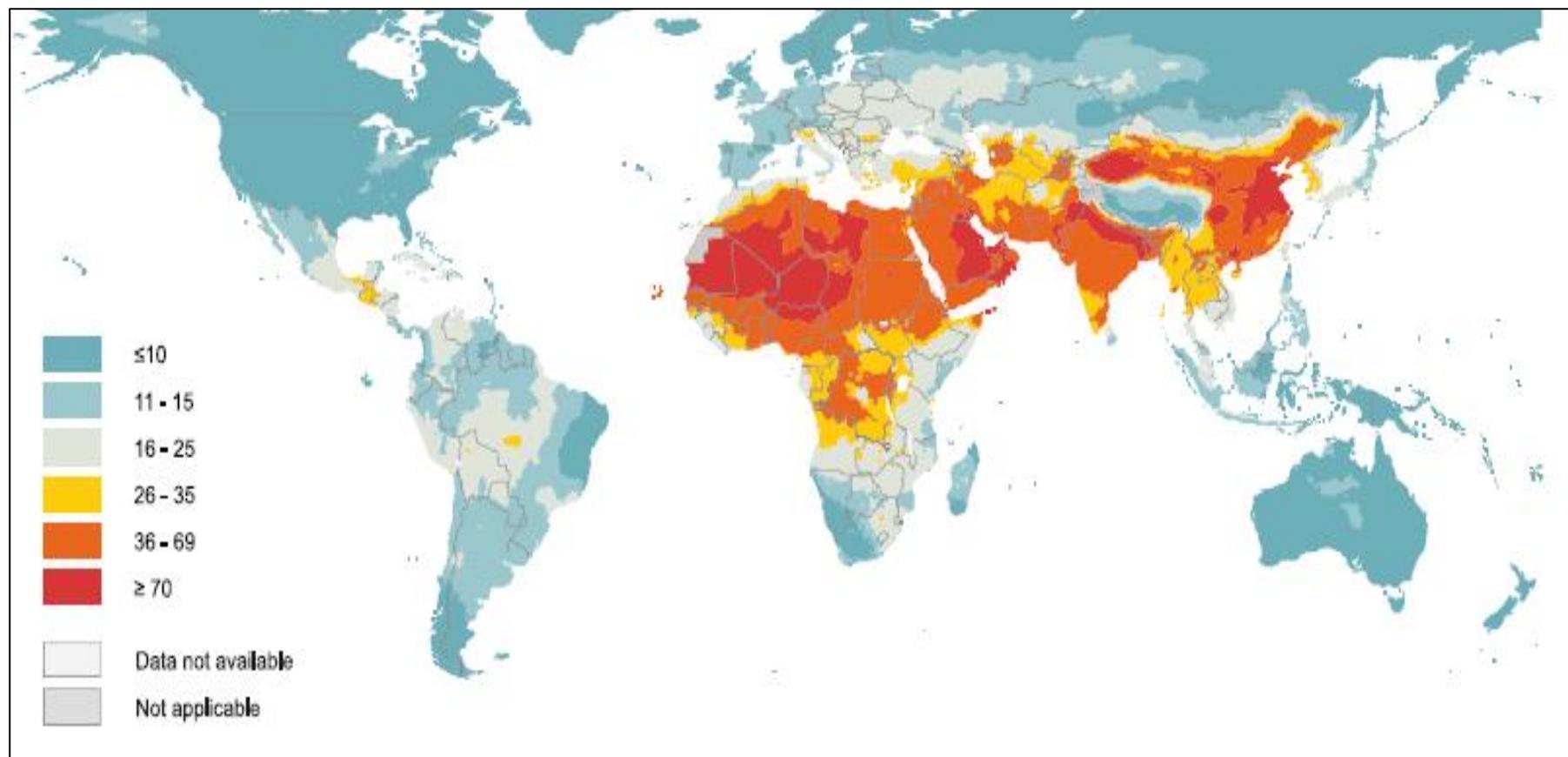


Figura 2. Mapa global de emissão anual média de concentração de MPA fração fina em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

(WHO, 2016a)

No Brasil, os dados nacionais disponíveis a partir do Ministério do Meio Ambiente (MMA) sobre qualidade do ar no Brasil são escassos. O MMA publicou em 2014 o “1º Diagnóstico de Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil” e observou-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 (BRASIL, 2014b). Outras fontes de dados, como os dados emitidos pela OMS (2017) sobre emissões de MPA, mostraram que as maiores concentrações de MPA fração fina, são observadas no estado do Mato Grosso, com destaque para o município de Sinop (localizado no Arco do desmatamento da Amazônia) e regiões próximas. Nessas localidades foram estimadas concentrações médias diárias de 36-69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de fração fina do MPA. A segunda região com concentrações elevadas de fração fina do MPA foi a sudeste, principalmente nas proximidades das metrópoles de São Paulo, Santos, Rio de Janeiro e Niterói (média diária de 26-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MPA fino). Dentre as regiões brasileiras com menores concentrações de MPA fino na atmosfera, destaca-se o nordeste com média anual $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2017a).

De acordo com Oliveira, Ignotti e Hacon (2011), o Brasil contribui com emissões importantes de MPA, devido algumas regiões brasileiras apresentarem níveis extremos de poluição atmosférica. Na região Sul e Sudeste, atividades industriais e tráfego veicular intenso são as causas principais de emissões em elevados níveis de MPA. Por outro lado, na região ao sul da Amazônia brasileira, a expansão do agronegócio e queimadas florestais são os principais contribuintes nas emissões de MPA, especialmente na região conhecida como Arco do Desmatamento (compreende parte do Maranhão, o Sul do Pará, o Norte do Mato Grosso, Rondônia e parte do Acre) (OLIVEIRA, IGNOTTI, HACON, 2011). Ressalta-se que as emissões de MPA poderão ser, também, provenientes de fontes naturais, que incluem as poeiras do solo, emissões vulcânicas, poeiras dos desertos e *Sprays* marinhos. Os vegetais são importantes emissores de MPA, seja na forma direta de emissão como pólen, ou na forma de precursores, como os compostos orgânicos voláteis, os quais, após reagirem na atmosfera formam partículas secundárias (WHO, 2013).

A Amazônia sofreu ao longo dos últimos 20 anos, intensa mudança no padrão de uso do solo. Estudos caminham no sentido de fornecer evidências de que reduzir o desmatamento e intensificar a produção agrícola podem ocorrer simultaneamente em fronteiras de florestas tropicais, desde que se tenham terras disponíveis e políticas concisas para promover o uso eficiente da terra por meio da intensificação e da contenção do desmatamento (MACEDO et al., 2012; NEPSTAND, STCKLER, ALMEIDA, 2006). Desde 1988, o Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE) avalia o desmatamento na Amazônia Legal por meio de imagens de satélite. Esse monitoramento, chamado de “Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélites” (PRODES), identifica alteração na cobertura florestal por corte raso. A partir de 2004, o Governo Federal instituiu o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm).

Essa medida governamental fomenta políticas públicas para manter a floresta em pé, por meio do monitoramento e de ações de fiscalização e controle. Embora esse processo ainda continue frágil, esforços estão voltados para conter o desmatamento, e com isso, houve uma redução de 71% da taxa de desmatamento entre os anos de 2004 até 2016. As taxas de desmatamento voltaram a crescer entre os anos de 2015 e 2016 e, segundo o INPE, o Pará é um dos estados que vem liderando o maior crescimento nas taxas de desmatamento durante esses anos (INPE, 2017). Segundo o INPE, a taxa estimada pelo PRODES em 2017, apontou o valor de 6.624 km² de área desmatada no período de agosto de 2016 a julho de 2017. O resultado indica uma diminuição de 16% em relação a 2016, ano em que foram apurados 7.893 km² de áreas desmatadas. Na Figura 3, é apresentado a série histórica do desmatamento na região Amazônica em km² nos anos de 1988 a 2016 segundo o MMA (BRASIL, 2016).

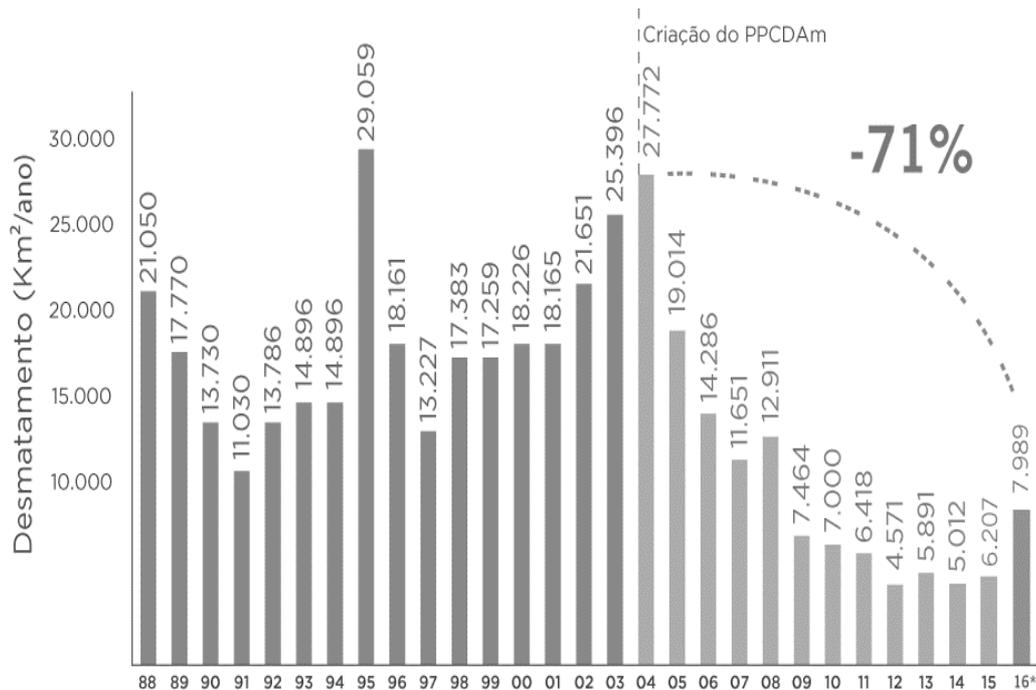


Figura 3. Série histórica do desmatamento na região Amazônica Brasileira entre 1988 a 2016.

(BRASIL, 2016)

Estima-se que a biomassa florestal amazônica detém cerca de 100 bilhões de toneladas de carbono, que é equivalente ao valor de emissões de combustíveis fósseis globais para mais de 10 anos em centros urbanos (DAVIDSON et al., 2012). O balanço de carbono de toda a bacia amazônica ainda permanece incerto, mas estão surgindo discussões para uma mudança direcional de um possível sumidouro de carbono para uma possível fonte, emissor de carbono com o aumento do desmatamento (DAVIDSON et al., 2012). Segundo o IBAMA, aproximadamente 70% dessas emissões de partículas devido a queima da biomassa, ocorrem no auge da estação seca, predominantemente entre os meses de julho e outubro (BRASIL, 2010a).

A sazonalidade climática na Amazônia é marcada por dois períodos (GOMES et al., 2016) (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. A variação da precipitação anual (mm) em 2016 na estação meteorológica de Santarém A250 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é mostrada na Figura 4.

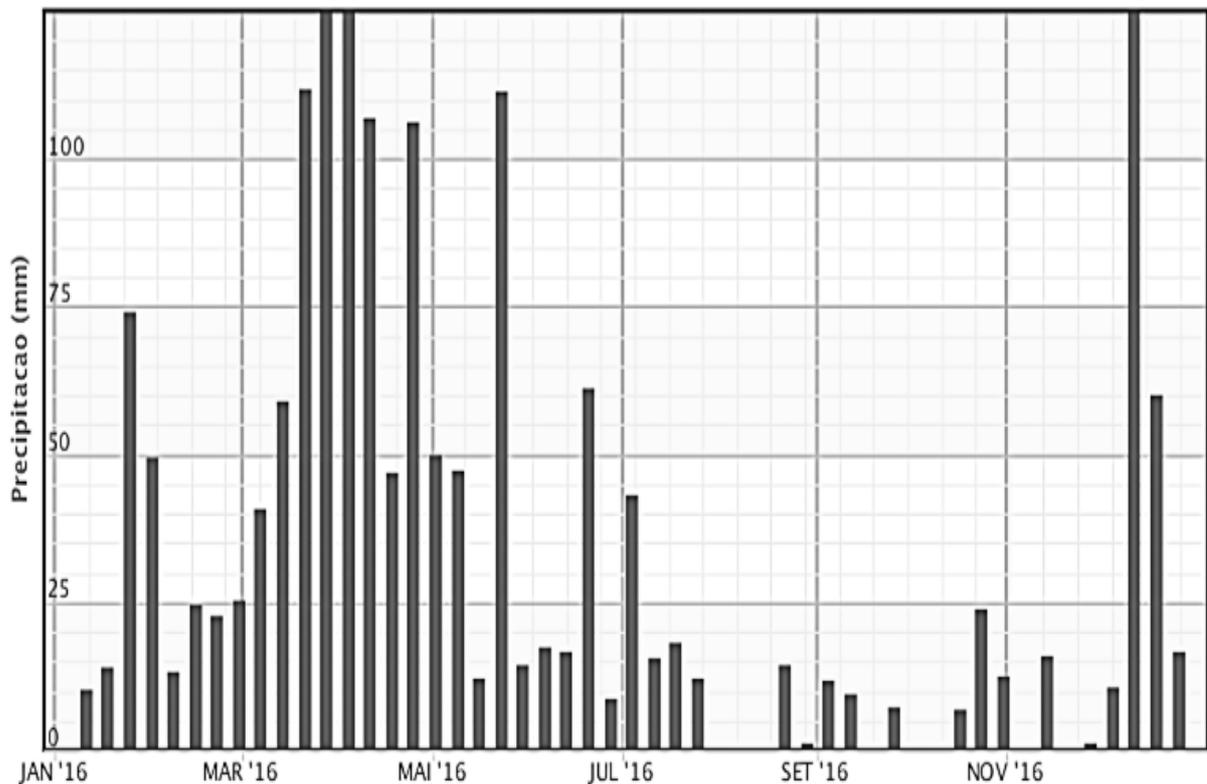


Figura 4. Precipitação anual (mm) de Janeiro a Dezembro de 2016 na estação meteorológica de Santarém, Pará, Amazônia.

(INMET, 2017)

Durante o período da seca, a precipitação pluviométrica diminui consideravelmente, coincidindo com o aumento do número de focos de queimadas e dos níveis de poluentes na atmosfera. Em algumas regiões do Arco do Desmatamento, como no município de Alta Floresta (MT), Artaxo et al. (2002) encontraram níveis elevados de MPA fração grossa (400 a 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e fração fina (200 a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante a estação seca. As altas concentrações de poluentes na atmosfera nesse período associam-se às intensas atividades antropogênicas de queima da biomassa, na qual é emitido principalmente o dióxido de carbono (CO_2), compostos orgânicos voláteis (VOCs) e MPA (ARTAXO et al., 2002). No período chuvoso, as concentrações de poluentes no ar diminuem e a concentração mássica (determinada em função da massa de partículas coletadas pelo volume do ar amostrado em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de MPA poderá decair para próximo 10 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ARTAXO et al., 2002).

No Brasil, o órgão que inicialmente regulamentou essas concentrações na atmosfera de MPA, foi o CONAMA por meio da Resolução de nº 3/1990 (BRASIL, 1990), entretanto, mais recentemente valores mais restritivos de exposição vêm sendo sugeridos pela OMS (2005) visando à proteção da saúde da população mundial. Segundo a publicação da OMS (2005) os padrões de qualidade do ar devem considerar fatores locais, visando sempre atingir as menores concentrações possíveis de MPA. Em 2008, o estado de São Paulo, iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, que culminou no ano de 2013 com o Decreto Estadual nº 59113/2013 (BRASIL, 2013) com novas diretrizes para a qualidade do ar fundamentada nos padrões internacionais da OMS (2005). Os valores máximos permissíveis de MPA estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº3/1990, pelo Decreto Estadual de SP nº59113/2013 e pela OMS (2005), considerando uma média para 24 horas estão apresentados abaixo.

Quadro 1. Valores máximos permissíveis de MPA segundo a Resolução do CONAMA nº3/1990, Decreto Estadual de SP nº59113/2013 e valores da OMS (2005).

	MPA fração grossa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MPA fração fina $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CONAMA nº3/1990	150	sem determinação
Decreto Estadual SP nº59113/2013	120	60
OMS (2005)	50	25

Os padrões de qualidade do ar determinados pelo Decreto Estadual de SP, atualmente, são valores temporários (metas intermediárias) a serem cumpridas em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar e as metas finais são as recomendações estabelecidas pela OMS (CESTEB, 2017). Além disso, a partir do documento “Compromisso pela Qualidade do Ar e Saúde Ambiental” (2009), o Governo Federal por meio do MMA vem assumindo a responsabilidade de trazer à reflexão as necessidades e desafios deste tema em outras regiões do Brasil, para alcançar metas mais restritivas em termos de qualidade do ar semelhantes aquelas estipuladas pelo Decreto nº59113. O objetivo é a proteção da qualidade do ar e da saúde ambiental no Brasil com vistas na saúde da população, como parte integrante de um "Plano Nacional de Qualidade do Ar" concebido de forma conjunta com os Estados e com as demais instituições afetas ao tema.

A poluição do ar representa um dos maiores problemas de saúde pública na atualidade, associando-se a vários efeitos deletérios sobre a saúde da população (BAKONYI et al., 2004). Estudos epidemiológicos mundiais mostram o aumento nos casos de morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardíacas associados a exposição ao MPA (NEL, 2005). Estima-se que com as emissões de MPA cause cerca de 3 milhões de mortes prematuras em todo o mundo (WHO, 2016a). Dessas mortes, cerca de 88% ocorrem em países de média e baixa renda como aqueles localizados na América Latina (WHO, 2016a).

O tamanho das partículas, a concentração mássica e a composição química do MPA são propriedades importantes nos efeitos que podem causar em saúde (NEL, 2005). Quanto ao tamanho das partículas, a fração grossa do MPA deposita-se nas vias aéreas superiores e as partículas da fração fina, nas vias aéreas inferiores (WHO, 2016a). A fração grossa do MPA é mais facilmente eliminada pelos mecanismos imunológicos do organismo, como as barreiras da imunidade inata (muco e movimentos celular ciliares) (ATSDR, 2009). A fração fina do MPA, ao se depositarem em estruturas pulmonares mais profundas, causam efeitos mais graves, como por exemplo, processos inflamatórios acentuados, o que poderá ocasionar asma, bronquite crônica, doenças pulmonares obstrutivas e diminuir trocas gasosas (ATSDR, 2009; NEL, 2005). Dessa forma, os efeitos da fração grossa em saúde humana são mais localizados e, em geral, não propiciam desfechos graves, enquanto que, a deposição da fração fina em vias aéreas inferiores tem um efeito mais deletério e dados mais graves associados com a saúde humana (POPE; DOCKERY, 2006).

Na figura 5, é mostrado os locais que as partículas de MPA podem ser depositadas no trato respiratório humano em função do seu tamanho. A fração grossa do MPA deposita-se,

geralmente, na nasofaringe, orofaringe, laringe e traqueia. A fração fina penetra mais profundamente, como na traqueia, brônquios e bronquíolos e alvéolos, e a fração ultrafina, deposita-se nos últimos estágios, preferencialmente em brônquios, bronquíolos e alvéolos. Durante a respiração em indivíduo saudável, num período de 24 horas, cada pulmão pode receber em média 30 milhões de partículas e cada alvéolo cerca de 1500 partículas finas (SEATON et al., 1995). Uma série de mecanismos estão sendo propostos para explicar o impacto adverso da inalação dessas partículas para a saúde humana (NEL, 2005).

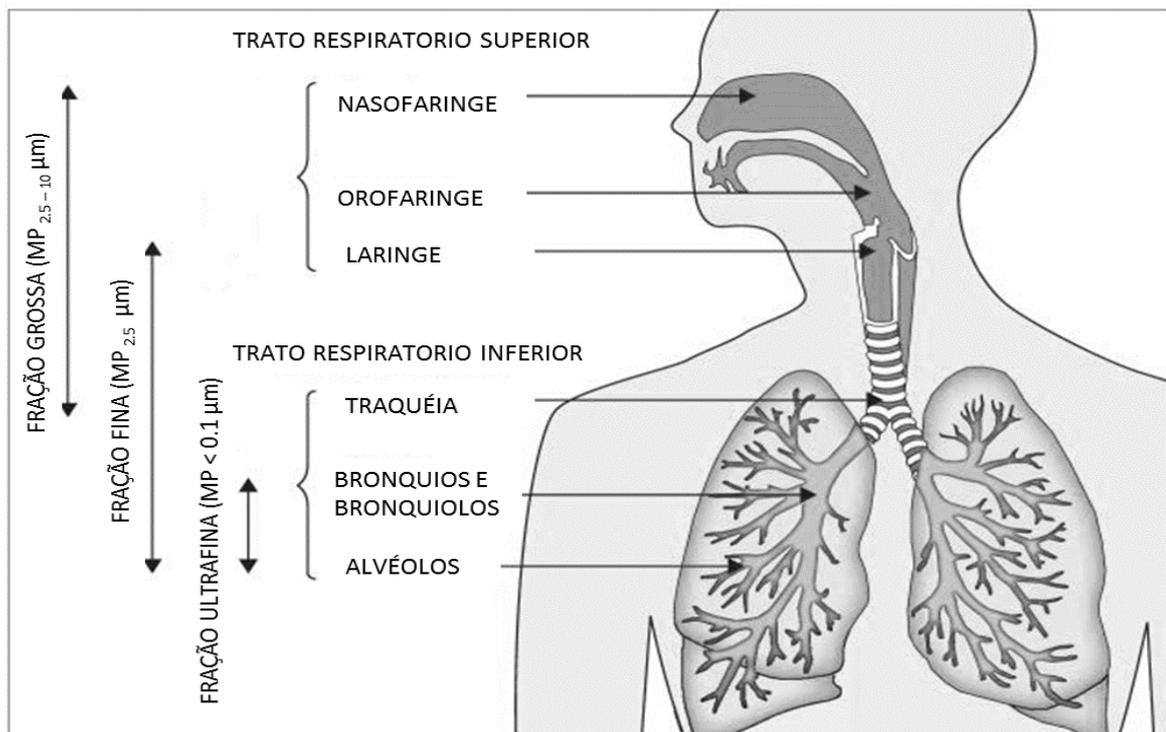


Figura 5. Probabilidade de deposição das frações grossa, fina e ultrafina do MPA inalável no trato respiratório humano.

(GUARNIERI; BALMES, 2014 - adaptado).

Segundo Nel (2005), existem respostas inflamatórias graves com liberação de ocitocinas e quimiocinas, com o aumento da produção de glóbulos brancos, aumento da produção de radicais livres nos pulmões, aumento das respostas celulares teciduais mediadas por endotoxinas, estimulação de receptores inflamatórios e modificações nas funções enzimáticas celulares a nível respiratório. O efeito adverso mais estudado e comprovado em seres humanos é inflamação das vias aéreas (GHIO; DEVLIN, 2001). A inflamação poderá ser um fator desencadeante do estresse oxidativo (GURGUEIRA et al., 2002). Embora ainda exista

dúvidas sobre quais componentes químicos, presentes nas partículas e que são responsáveis pela produção de estresse oxidativo, há evidências de que preferencialmente, alguns metais, como Cu, Cr, Ni e Fe desempenham tais efeitos (GURGUEIRA et al., 2003).

A resposta inflamatória ocasionada nas vias aéreas pode levar a efeitos sobre o sistema cardiovascular (NEL, 2005). Os mecanismos também não foram totalmente elucidados, mas acredita-se que a inflamação poderá induzir a hipercoagulabilidade transitória e obstrução de vasos, especialmente em pessoas com predisposição (SUWA et al., 2002). Além disso, a exposição a longo prazo à poluição atmosférica poderá ter papel importante no processo de formação da aterogênese (KUNZLI et al., 2005). Evidências mostram que mudanças na frequência cardíaca e arritmia foram observados em indivíduos expostos a elevadas concentrações de MPA (DONALDSON et al., 2001).

Alguns indivíduos podem ser mais propensos ao desenvolvimento de respostas inflamatórias, asma e respostas alérgicas, devido a mutações nos genes envolvidos na indução da defesa antioxidante (GILLILAND et al., 2003). Outras condições que predispõem a susceptibilidade ao MPA incluem extremos de idade (como as crianças), a presença de doença cardíaca e pulmonar pré-existente e diabetes mellitus, todas associadas a estresse oxidativos e inflamação (NEL, 2005).

Os efeitos inflamatórios e as outras respostas patológicas decorrentes da exposição ao MPA podem ser considerados agudos (atribuídos a uma exposição a curto prazo de dias ou semanas) ou crônicos (atribuídos a uma exposição a longo prazo de meses e anos) (WHO, 2005). De maneira geral, os efeitos da exposição aguda acometem um maior número de pessoas e demonstram ser menos severos em saúde e incluem mudanças sutis fisiológicas na função pulmonar que levam a absenteísmos escolares e no trabalho, aumento de visitas médicas e uso de medicações para tratamento dos primeiros sinais e sintomas clínicos. Por outro lado, os efeitos de uma exposição crônica, parecem acometer um número menor de pessoas, mas causam desfechos mais drásticos em saúde como mortes, câncer de pulmão, restrições de crescimento intrauterina (WHO, 2005).

Na Figura 6, é apresentado a pirâmide proposta pela OMS exemplificando que os efeitos em saúde mais severos associados a exposição de MPA, que acontecem em uma parcela menor da população e, os mais sutis, afetam um maior número de pessoas (WHO, 2005).

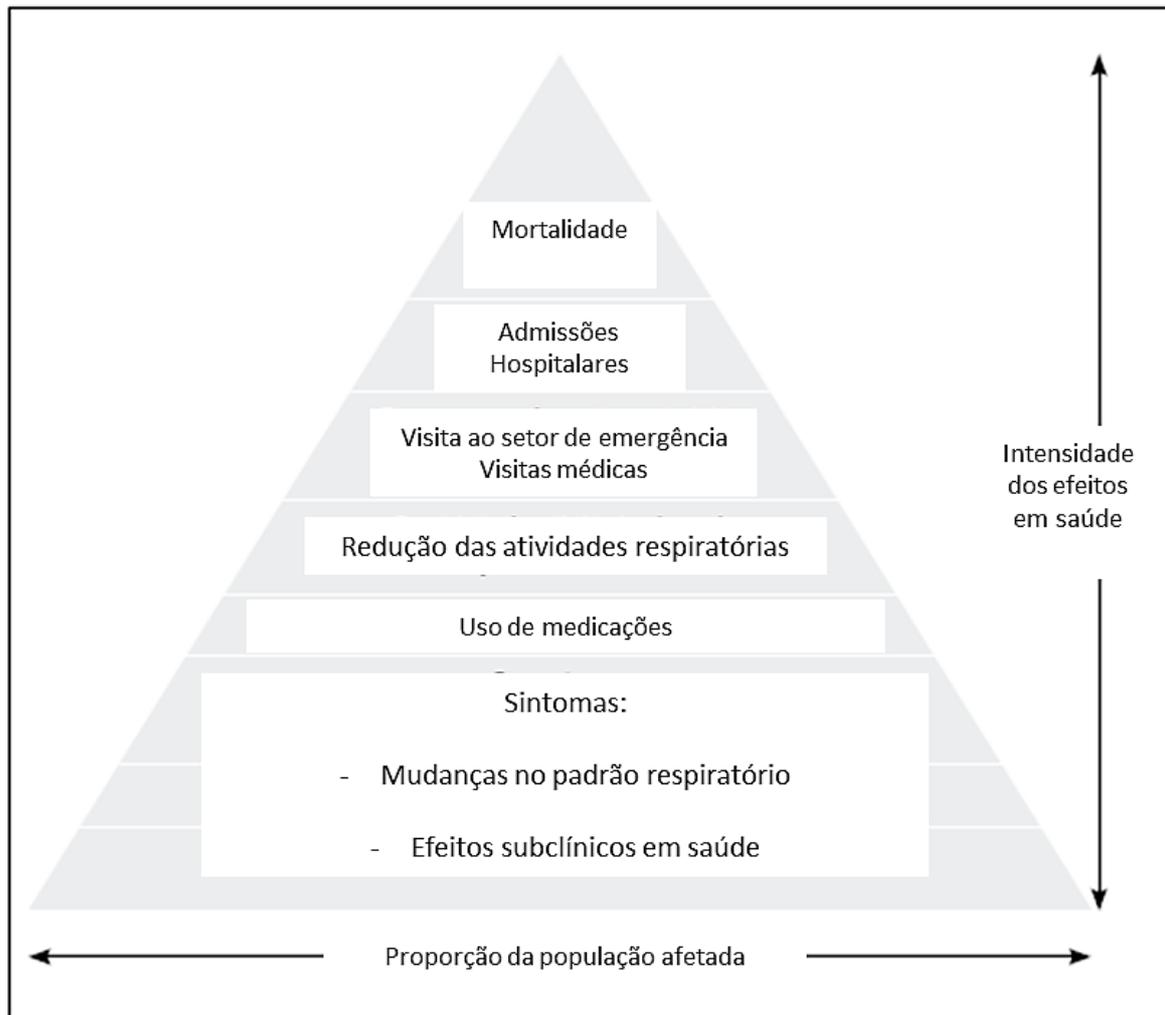


Figura 6. Pirâmide sobre a gravidade dos efeitos adversos em saúde da exposição ao MPA.
(WHO, 2005 - adaptado)

Alguns estudos vêm sendo realizados na região amazônica e têm mostrado os efeitos adversos à saúde decorrentes da exposição às partículas advindas da queima de biomassa florestal. Poucos trabalhos relacionam a exposição ao MPA e os efeitos de menor intensidade em saúde como os subclínicos, localizados na base da pirâmide. Dois estudos merecem destaque. O estudo realizado por Jacobson et al. (2012), investigou os efeitos subclínicos em crianças de seis a 15 anos decorrentes da exposição ao MPA na Amazônia. Os autores, relataram diminuição do pico de fluxo expiratório e o aumento na frequência de micronúcleos em células epiteliais orais em escolares de ensino fundamental (principalmente com idade entre seis a oito anos) e em idosos residentes na região do Arco do Desmatamento da Floresta Amazônica. Sisenando et al. (2012) que avaliaram o potencial genotóxico da exposição a fração

fina do MPA em células esfoliadas da mucosa oral, através de um ensaio de micronúcleos em 574 crianças, dos quais 446 eram expostas a queima da biomassa. Os resultados mostraram que as crianças expostas houve um aumento significativo da frequência de micronúcleos nas amostras avaliadas.

Por outro lado, a maior parte dos trabalhos na literatura, referem-se ao estudo dos desfechos mais graves em saúde (como aqueles localizados ao topo da pirâmide) e mostram relações importantes entre aumento nos atendimentos de emergência, consultas ambulatoriais e internações hospitalares e a exposição ao MPA na Amazônia. Como o estudo de Barros (2011), que analisou a relação entre as queimadas e as internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças no Estado de Rondônia entre os anos de 2007 a 2010. Os resultados revelaram um aumento do número de internações hospitalares durante a estação seca na região estudada. Em outro estudo, Carmo et al. (2010), observaram que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de exposição a fração fina do MPA em Alta Floresta, Mato Grosso do Sul, esteve associado ao aumento no número de atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias em crianças expostas. Na pesquisa desenvolvida por Oliveira (2011), apontou que as crianças apresentaram um aumento no número de internações hospitalares por doenças respiratórias no período da seca em áreas da queima da biomassa no Sul da Amazônia. Mascarenhas et al. (2008) também observou um aumento no número de atendimentos de emergência por doenças respiratórias durante o período da seca no município de Rio Branco, no Acre.

Nesse contexto, verifica-se a importância do conhecimento sobre os impactos decorrentes da poluição atmosférica e a saúde humana no contexto amazônico. Não há dúvidas que o desmatamento, as queimadas e a substituição da floresta por pastagens têm sido as preocupações ambientais mais relevantes na Amazônia no últimos 20 anos. O envolvimento de cientistas nacionais e internacionais nesse processo vem produzindo informações e conhecimentos a respeito dos efeitos do desmatamento sobre o ecossistema amazonico e como poderão afetar a saúde humana.

2.4 Avaliação quantitativa de risco para a saúde humana

De acordo com a USEPA, a avaliação de risco para a saúde humana é uma ferramenta metodológica que emergiu entre os anos de 1940 e 1950, capaz de estimar a probabilidade de exposição à uma substância causar efeitos adversos na saúde de uma determinada população. No contexto da saúde pública, essa avaliação identifica e quantifica os riscos à saúde humana,

fornecendo subsídios para a adoção de políticas públicas e medidas corretivas (USEPA, 2006).

A avaliação de risco, tem sido aplicada para avaliar os efeitos adversos potenciais para a saúde quando há exposição à água contaminada (ALVES et al., 2014; CASTILHOS et al., 2014; TURDI; YANG, 2016; NADAL; SCHUHMACHER; DOMINGO, 2011). De acordo com essa metodologia, as etapas de trabalho para quantificar o risco podem ser divididas em: identificação do perigo, avaliação da exposição pela dose resposta, caracterização do risco e gestão do risco (USEPA, 1989), como evidenciado na Figura 7.

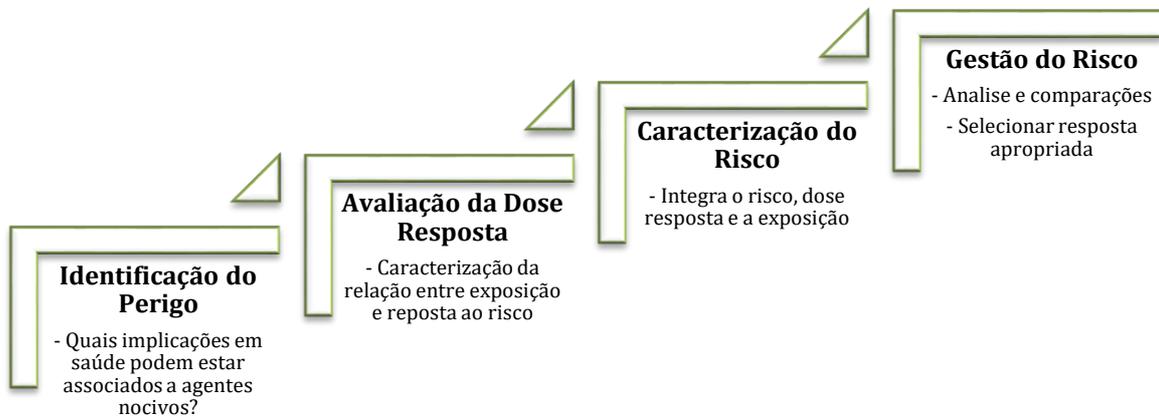


Figura 7. Resumo esquemático das etapas da avaliação quantitativa de risco a saúde humana. (USEPA, 1989 – adaptado)

Na primeira etapa (identificação do perigo) do processo metodológico da avaliação quantitativa de risco, considera-se agentes químicos são identificados e são uma possível suspeita de risco ao meio ambiente e à saúde humana. Na segunda etapa (avaliação da exposição pela dose resposta) refere-se à relação quantitativa entre a dose que entrou no organismo (ex. pela ingestão) de um agente químico e a ocorrência de um efeito ou resposta em uma população exposta a esse contaminante. Na terceira etapa (caracterização do risco), caracteriza-se se houveram riscos a partir da dose de exposição e os valores de referência estabelecidos pela USEPA de efeitos não observáveis adversos para cada substância. Nesse momento, de avaliação, ranqueia-se elementos químicos que podem ser mais ou menos perigosos a saúde humana através da sua exposição. Sendo assim, determina-se quantitativamente o risco não carcinogênico e o risco carcinogênico dos contaminantes expostos. A USEPA (1989, 1996) estabelece, para determinadas substâncias, as concentrações de referência para os efeitos não

carcinogênicos e carcinogênicos. Na última etapa (gestão do risco), os gestores públicos podem utilizar essa ferramenta para propor ações preventivas e de saúde pública (USEPA, 1989).

3 -Objetivos

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Investigar as implicações em saúde de escolares relacionadas ao consumo de água e do material particulado inalado em escolas de ensino fundamental nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos, Pará.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais características sociodemográficas dos escolares de ensino fundamental associadas a vulnerabilidade à exposição a poluição hídrica e atmosférica;
- Avaliar a qualidade microbiológica, parâmetros físico-químicos e a composição química da água em escolas de Santarém e Mojuí dos Campos em duas estações do ano e relacionar com as possíveis implicações para a saúde humana decorrentes do seu consumo;
- Avaliar o risco quantitativo de exposição dos escolares a poluentes químicos (Al, B, Ba, Cu, Mn, Ni, Zn e nitrato) advindos da água de consumo nas escolas de Santarém e Mojuí dos Campos;
- Identificar a concentração mássica e a composição inorgânica do MPA inalável nas escolas e relacionar com as possíveis implicações para a saúde humana decorrentes da sua exposição;
- Levantar dados epidemiológicos sobre morbimortalidade de crianças por doenças diarreicas e respiratórias nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos.

4 -Procedimientos metodológicos

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Delineamento do estudo

Trata-se de uma pesquisa de caráter descritivo quantitativo exploratório, que foi realizada durante os anos de 2015 a 2016 em quatro escolas de ensino fundamental em Santarém e Mojuí dos Campos, Pará - Amazônia, que identificou as implicações em saúde a partir da avaliação da qualidade da água de consumo e do ar inalável aos quais escolares estão expostos.

4.2 Aspectos éticos

O presente estudo foi aprovado em TCLE (APÊNDICE I) e Termo de Assentimento do Menor (APÊNDICE II) em Setembro do ano de 2015 pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado do Pará (UEPA) pelo parecer de número 1.318.594 (ANEXO I). O TCLE e o Termo de Assentimento do menor foram elaborados em congruência com as especificações estabelecidas pela Portaria nº466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012) que regulamenta pesquisas envolvendo seres humanos.

4.3 Contextualizações sobre os municípios de Santarém e Mojuí dos Campos

A distância entre Santarém e Mojuí dos Campos é de aproximadamente 28 quilômetros (km) (Figura 8). A região dos municípios tem clima tropical sazonal com dois períodos marcantes a estação seca e a estação chuvosa. Nos últimos dois anos, de acordo com os dados fornecidos pelo INMET, na região de Santarém, o intervalo com 95% dos valores registrados para temperatura estiveram entre 22,5 a 32,7 °C durante a estação seca e entre 22,3 a 31,2 °C durante a estação chuvosa. A precipitação total anual e a umidade relativa foram de 63,2 mm e 84,2% na estação seca e de 168,2 mm e de 87,7% na estação chuvosa, respectivamente (INMET, 2017).

A cidade de Santarém, com 296.302 habitantes estimados em 2017 (IBGE, 2017), é a segunda região urbana mais importante do estado do Pará e está localizada no encontro dos rios Tapajós e Amazonas. Os dois rios são utilizados como via de transporte regional e para as atividades de pesca, mas não como fonte de água para consumo humano. A água para consumo em Santarém é de captação subterrânea, fornecida pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) e pela Prefeitura do município de Santarém. A COSANPA capta a água a partir

de poços subterrâneos profundos (> 200 m) que interceptam o volumoso aquífero Alter do Chão e distribuem água para 61% da população (COSANPA, 2013). O aquífero de Alter do Chão é a principal fonte de abastecimento de água subterrânea no estado do Pará, incluindo a área de estudo. A prefeitura do município de Santarém utiliza a captação de água a partir de poços rasos, denominados microssistemas, localizados a 18 a 30 m de profundidade para suprimento das demandas de consumo da população. As famílias e departamentos que não são atendidos por nenhum desses sistemas anteriormente citados, utilizam água subterrânea de poços rasos particulares.

De acordo com o Ranking de Saneamento publicado pelo Instituto Trata Brasil (2016), a partir de uma análise dos 100 maiores municípios brasileiros, Santarém ficou entre os dez piores municípios com sistemas de saneamento e oferta hídrica considerados satisfatórios oferecidos à população (TRATA BRASIL, 2016). Segundo o Instituto Trata Brasil (2016), a cidade de Santarém esteve 40 anos sem investimento em saneamento. Os primeiros investimentos foram feitos na década de 1970, quando a cidade recebeu obras do Departamento Nacional de Obras de Saneamento com implantação de galerias pluviais e para captação de águas subterrâneas. O projeto original previa a implantação de uma rede e estação coletora e um emissário, que não foram feitos até o presente momento e a estação de tratamento de esgoto construída no bairro Mapiri, ainda permanece com problemas de funcionamento. Após esse período, somente a partir de 2010, Santarém retomou discussões e intenções acerca de propostas para a melhoria do sistema de abastecimento de água no município. Discussões mais recentes, enfocam que através do Programa de Aceleração do Crescimento e do Programa Água para Todos, o Governo do Estado do Pará, visa melhorias estruturais na ampliação do abastecimento público para todos os bairros, com vistas de novas ligações de água. Além disso, intenções são favoráveis na construção e perfuração de poços profundos de captação subterrânea como fonte de suprimento hídrico a população. Observa-se de maneira geral, que a exploração dos recursos de água subterrânea na região de Santarém, vem sendo marcada, por um imediatismo decorrente de um crescimento rápido urbano e desordenado da região. Segundo Tancredi (1996), existe falta de planejamento técnico e a preocupação está voltada para atender apenas as necessidades do momento e questões sanitárias importantes muitas vezes são deixadas a parte.

A cidade de Mojuí dos Campos com 15.646 habitantes estimados para 2017 (IBGE, 2017a), tornou-se emancipada de Santarém em 2013. Mojuí dos Campos tem como principal atividade econômica o cultivo de soja, milho e pimenta preta. Em Mojuí dos Campos existe um microssistema principal que abastece a população por meio da captação de água do aquífero

"Alter do Chão" a uma profundidade de 202 m operado pela Prefeitura Municipal de Mojuí dos Campos. Além disso, conta com outros seis microssistemas de captação subterrânea com profundidade de 104 metros para suprimento de regiões mais periféricas, localizados em regiões periféricas de Mojuí dos Campos.

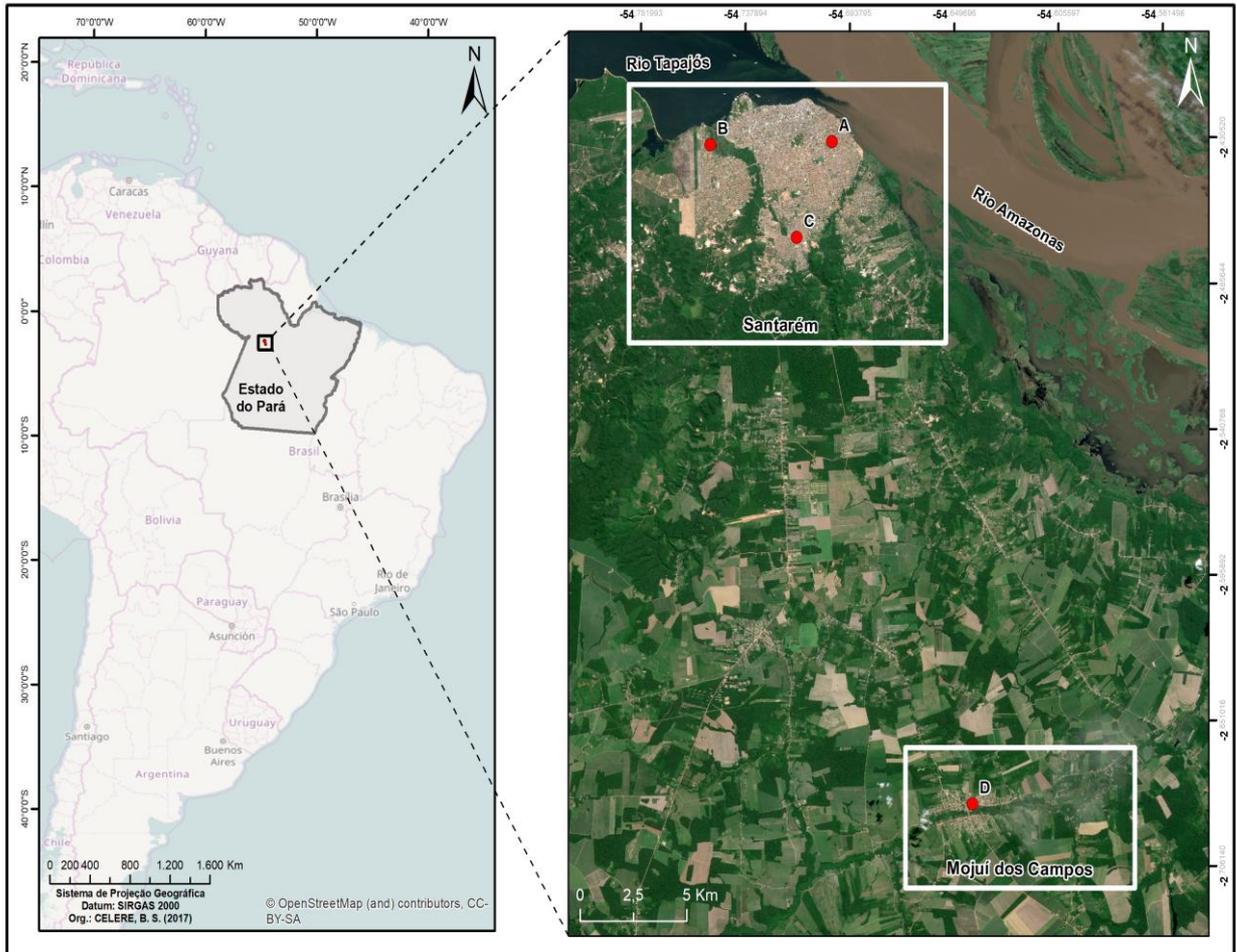


Figura 8. Localização das escolas A, B e C na cidade de Santarém e escola D em Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia. (CELERE, 2017)

4.3.1 Local de estudo

O local do estudo foram escolas na cidade de Santarém e na cidade de Mojuí dos Campos, na região de Santarém, estado do Pará, Amazônia, Brasil. No município de Santarém, selecionou-se três escolas públicas municipais de ensino fundamental: (i) denominada nesse estudo de Escola A, localizada no bairro da Prainha na zona leste da cidade, (ii) denominada

nesse estudo de Escola B, localizada no bairro Maracanã na zona oeste da cidade e (iii) denominada nesse estudo de Escola C: localizada no bairro Nova república na zona sul da cidade. Em Mojuí dos Campos, por ser menor, selecionou-se apenas uma escola (i) a denominada nesse estudo de Escola D, localizada no bairro centro de Mojuí dos Campos (Figura 8).

O critério de seleção das escolas, deu-se pela localização e número de alunos matriculados, ou seja, escolas por região que apresentassem o maior número de alunos matriculados foram selecionadas. Além disso, selecionou-se escolas públicas pelo fato de não apresentarem sistemas de refrigeração de ar nas salas de aula, garantindo-se assim, que o ar externo representaria, também, o ar interno das salas de aula. Em Santarém selecionou-se escolas em 3 regiões distintas (leste, oeste e sul) visando garantir uma visão mais representativa da cidade. Em Mojuí dos Campos, optou-se pela escola localizada mais a leste do 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 (LONGO et al., 1999) e, também, a escola que tivesse o maior número de alunos matriculados de ensino fundamental.

As escolas de ensino fundamental matriculam alunos com faixa etária entre quatro e 17 anos. A escolha de escolas de ensino fundamental deu-se pela vulnerabilidade dos escolares nessa faixa etária aos efeitos ambientais. Nas escolas os sistemas de abastecimento de água são subterrâneos proveniente de poços rasos ou profundos. Os poços menos profundos são privativos das escolas e os profundos são abastecidos pela COSANPA, que abastece as escolas através de sua rede de distribuição. A água dos poços subterrâneos é armazenada, em todas as escolas, em reservatórios suspensos (caixa d'água). Todas as escolas possuem fossas sépticas como forma de coleta e armazenamento do esgoto sanitário gerado nos sanitários. A distância entre poço raso nas escolas A e C e fossa séptica é pequena, em geral de 15 metros, entretanto, nas escolas B e D essa distância é maior em virtude da água utilizada ser proveniente de poço da COSANPA e não da própria escola. As escolas não possuem sistemas de refrigeração de ar, todas as salas de aula possuem ventilação natural, através de paredes constituídas por tijolos furados que permitem a passagem do ar. Na sala de aula é utilizado o quadro negro com giz de calcário para ensino. Na Tabela 1 a seguir, apresenta-se as principais características das escolas incluídas no presente estudo.

Tabela 1. Principais características das escolas A, B e C de Santarém e escola D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Características	A	B	C	D
Município	Santarém	Santarém	Santarém	Mojuí dos Campos
Bairro	Prainha	Maracanã	Nova República	Centro
Número de alunos	823	306	1069	376
Faixa etária dos alunos	4 a 17 anos	4 a 17 anos	4 a 17 anos	4 a 17 anos
Fonte da água de consumo	Subterrânea (30 m) – poço privativo	Subterrânea (200 m) – poço COSANPA	Subterrânea (18 m) – poço privativo	Subterrânea (202 m) – poço operado pela prefeitura
Forma de armazenamento da água	Caixa d'água	Caixa d'água	Caixa d'água	Caixa d'água
Forma de coleta do esgoto sanitário	Fossa séptica	Fossa séptica	Fossa séptica	Fossa séptica
Distância entre a fossa séptica e poço de água	± 15 m	>50m	± 15 m	± 50 m
Ventilação	Natural	Natural	Natural	Natural
Quadro escrita	Quadro negro com giz	Quadro negro com giz	Quadro negro com giz	Quadro negro com giz

4.4 Coleta de dados sobre o perfil sócio demográfico e de exposição a poluição hídrica e atmosférica dos escolares

Durante a primeira fase de coleta das amostras de água e do MPA ocorrida no período de março a abril de 2016 nas escolas A de Santarém e D de Mojuí dos Campos, realizou-se concomitantemente a coleta de dados sobre os aspectos relacionados a características sociodemográficas (gênero, idade, renda, escolaridade e ocupação do responsável familiar), de saúde e de exposição a poluição hídrica e atmosférica. O objetivo principal dessa coleta de dados foi conhecer informações sobre os escolares em momentos que estão fora da escola. Para isso, elaborou-se um questionário com perguntas fundamentadas em um levantamento bibliográfico pertinente.

Os questionários (APÊNDICE III) foram entregues aos escolares juntamente com o TCLE e Termo de Assentimento do menor. Não houveram critérios de exclusão, todos os alunos que desejaram participar do estudo com o consentimento do responsável foram incluídos

na pesquisa. Para a aplicação dos questionários, em um primeiro momento, foram explicados os objetivos da pesquisa em todas as salas de aula e sobre as questões éticas envolvidas. Os questionários foram entregues para todos os escolares da escola A e D, que foram orientados a levarem para casa o questionário e juntamente com o seu responsável ler e assinar o TCLE e o Termo de Assentimento do menor, para então responder o questionário. No dia seguinte, os questionários eram recolhidos e as dúvidas sanadas. A maioria dos alunos vão desacompanhados dos responsáveis para a escola, por esse motivo optou-se que os escolares levassem para casa o questionário e aqueles que compreendiam bem a leitura e escrita foram incentivados a assinar o termo de assentimento do menor.

Além do questionário, medidas antropométricas foram obtidas dos escolares. Foram medidos o peso e a altura dos escolares participantes usando uma balança digital Omron® com capacidade máxima de 150 kg. A altura foi determinada por meio de um extensor métrico. O Índice de Massa Corpórea (IMC) foi calculado pela divisão entre o valor obtido do peso (em kg) pelo valor da altura ao quadrado, conforme a fórmula a seguir:

$$\text{IMC} = \text{Peso} / \text{Altura}^2$$

4.5 Coleta das amostras de água

A primeira campanha de coleta das amostras de água, ocorreu nas escolas A de Santarém e D de Mojuí dos Campos nas fontes mais utilizadas pelos escolares durante o período letivo, o ponto do bebedouro e da cozinha. Por não haver variações significativas entre o ponto do bebedouro e da cozinha, optou-se por extrair a média das duas análises, visto que são da mesma fonte de captação e distribuição. As amostras de água foram coletadas por um período de seis meses, sendo uma coleta por mês em setembro, outubro e novembro de 2015 (durante a estação seca) e uma coleta por mês em março, abril e maio de 2016 (durante a estação chuvosa). Ao final, obteve-se 24 amostras de água subterrânea no total, sendo 12 coletadas durante a estação seca e 12 coletadas durante a estação chuvosa.

A segunda campanha de coleta de amostras de água, deu-se nas escolas B e C de Santarém, visando garantir uma maior representatividade de pontos de coleta no município. Nessas escolas optou-se por coletar amostras apenas do bebedouro, devido as amostras serem provenientes da mesma fonte (cozinha e bebedouro) e por terem mostrado na primeira

campanha diferenças significativas analíticas. As amostras de água foram coletadas, também, por um período de seis meses, sendo uma coleta por mês em setembro, outubro e novembro de 2016 (durante a estação seca) e uma coleta por mês em março, abril e maio de 2017 (durante a estação chuvosa). Ao final desse período, obteve-se 12 amostras de água subterrânea no total, sendo seis coletadas durante a estação seca e seis coletadas durante a estação chuvosa.

Ao final das duas campanhas de coleta obteve-se 36 amostras de água das escolas e todas foram avaliadas quanto aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Para a coleta e análise seguiu-se os procedimentos estabelecidos pelo “Manual prático de análise de água” da Fundação Nacional de Saúde (BRASIL, 2006a) e pelo “Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos” da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2011).

Em cada ponto de coleta das amostras, foram obtidas as seguintes amostras:

- Uma bolsa estéril e descartável tipo *Nasco® (Whirl – Pak)* para análise bacteriológica. Após a coleta, as bolsas foram acondicionadas em uma caixa térmica com temperatura inferior a 10° C e transportadas para o laboratório de análise em caixa de isopor com gelo.
- Uma amostra de 1L que foi destinada para a análise parasitológica em um frasco plástico descartável. Após a coleta, os frascos foram acondicionados em uma caixa térmica com temperatura de 2° a 10° C e transportadas para o laboratório de análise em isopor com gelo.
- Uma amostra de 500 ml de água que foi destinada à análises físico-químicas (pH; turbidez; condutividade e alcalinidade total). O pH foi avaliado em campo e os outros parâmetros foram avaliados, após a conservação das amostras em isopor com gelo a temperatura de 2° a 10°C, no laboratório.
- Uma amostra de 50 ml de água que foi destinada para dosagem de elementos traço, coletada em um tubo de centrifuga estéril (marca *Hexis®*) provido de tampa. A amostra foi filtrada usando-se filtro para seringa de 0,2 µm de porosidade pré-acondicionado na ponta da seringa estéril. Após a coleta e filtragem, a amostra foi acidificada com duas gotas de ácido nítrico (HNO₃) a 1% (purificado por ebulição) e mantida resfriada até o momento da análise.
- Uma amostra de 50 ml de água que foi destinada para a análise de íons, coletada em um tubo de centrifuga estéril (marca *Hexis®*) provido de tampa. A amostra também foi filtrada no momento da coleta através do filtro para seringa de 0,2 µm de porosidade pré-acondicionado na ponta da seringa estéril. Após a coleta as amostras foram mantidas resfriadas até o momento das análises.

4.6 Métodos analíticos para amostras de água

4.6.1 Análise microbiológica

As análises bacteriológicas envolveram a determinação (presença e ausência) de coliformes totais, *E.coli* e bactérias heterotróficas. Além disso, em todas as amostras nas quais foi observado crescimento bacteriano, realizou-se a determinação quantitativa do número de UFC por 100 mL. O método analítico utilizado para as análises bacteriológicas foi de membranas filtrantes. O método consistiu na filtração de 100 mL da amostra, sob vácuo, através de uma membrana filtrante com porosidade de 0,45 µm e diâmetro de 47 mm, onde as bactérias ficaram retidas. Após a filtração, a membrana foi acomodada em uma placa de petri contendo meios de cultura específicos (Agar Bile Verde Brilhante) para crescimento de coliformes totais e *E.coli* que foram incubadas em estufas microbiológicas a temperatura de 35 °C ± 0,5 °C por 24 horas ± 2 horas. O mesmo procedimento foi repetido para a determinação de bactérias heterotróficas, no entanto, utilizou-se o meio de cultura específico (Count Agar) para a determinação de bactérias heterotróficas e considerou-se a temperatura de 35 °C ± 0,5 °C por 48 horas ± 2 horas para incubação em estufa microbiológica. Posteriormente, as membranas foram examinadas para a verificação de presença e/ou ausência de bactérias e contagem de UFC. Os resultados positivos foram expressos em UFC por 100 mL (JULIÃO, 2011).

Para a leitura de coliformes totais, considerou-se resultado positivo as colônias típicas de cor verde escuro que cresceram na membrana em contato com meio de cultura após o período de incubação. Para a determinação de *E.coli*, após a leitura de coliformes totais efetuou-se a exposição de cada membrana a luz ultravioleta (366 nm, 6W) a uma distância de 6 a 8 cm em ambiente escuro. Considerou-se resultado positivo para *E.coli* quando colônias na coloração fluorescente foram detectadas. Para a leitura de bactérias heterotróficas considerou-se resultado positivo a quantidade de UFC presentes na membrana após as condições pré-estabelecidas de incubação. Ressalta-se que para essa etapa da pesquisa, os experimentos analíticos microbiológicos foram realizados em Santarém, no laboratório LabVida.

Na Figura 9 mostra-se a placa de petri com crescimento de coliformes totais na membrana filtrante (em verde) e, na segunda imagem, os pontos fluorescentes representam as UFC de *E.coli*.

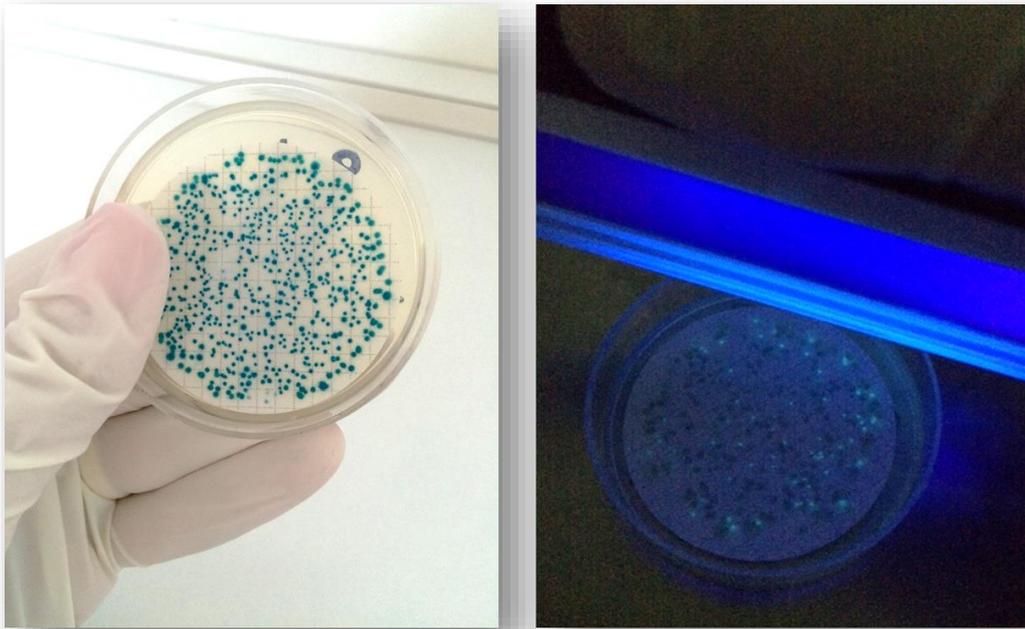


Figura 9. Placa de petri com resultado positivo para coliformes totais e placa de petri em leitura com luz de fluorescência com resultado positivo para *E.coli*.

Para a análise parasitológica utilizou-se a técnica de Lutz proposta por Neves (2005), que consistiu em transferir 1L da amostra para cálices de fundo cônico por um período de 2h até 24h, para sedimentação. Posteriormente, transferiu-se 1 mL do material sedimentado com uma pipeta Pasteur para lâmina, corada com uma gota de lugol [Iodeto de Potássio Cristalizado (KI) (4,0 gr); Iodo em pó (I2) (2,0 gr); Água destilada q.s.p. (100 ml)], para observação em microscópio óptico (NEVES, 2005). No microscópio óptico binocular (Nikon – modelo E200) procedeu-se a leitura da lâmina por amostra para a identificação de ovos, cistos e larvas em aumento de 100 X e para a confirmação de estruturas presentes na lâmina em 400 X (JULIÃO, 2011), percorrendo-se toda a área da lâmina. Em caso de identificação de microrganismos, procedeu-se a quantificação, e realizou-se o cálculo a seguir para obter o resultado de microrganismos por ml de amostra (JULIÃO, 2011).

4.6.2 Análise dos parâmetros físico- químicos

Para todas as amostras de água realizou-se a medida de pH, turbidez, condutividade e alcalinidade. Para essa etapa da pesquisa, os experimentos analíticos de mensuração dos parâmetros físico-químicos foram realizados em Santarém, no laboratório LabVida. A leitura do pH foi realizada pelo método potenciométrico, utilizando-se o pHmetro portátil, modelo HI

991003 da Hanna, com eletrodo acoplado, calibrado previamente com soluções tampão de pH de 4,0 e 7,0. O eletrodo foi lavado com água deionizada e introduzido na amostra para a leitura do valor de pH a temperaturas de 25 °C – 30 °C, em campo.

A análise da turbidez foi realizada com um turbidímetro de bancada, do modelo Turbidímetro PLUS II microprocessado (marca AlfaKit®), para análise de água baseado no princípio nefelométrico (comparação da intensidade da luz dispersada pela amostra sob condições definidas) na faixa de 0 a 1000 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Antes da leitura da amostra, foi feita uma prova em branco com água microfiltrada na cubeta limpa para a calibração do equipamento. Após a calibração, utilizou-se um padrão em gel fornecido pelo fabricante para confirmação do resultado. Posteriormente a amostra foi colocada em um cubeta limpa e prosseguido a mensuração.

A condutividade foi realizada com um condutivímetro digital do modelo HI 98194 (marca Hanna®), que é um medidor multiparâmetro portátil, com sonda multisensor submergida na água com microprocessador que transmite as leituras digitalmente para o medidor, onde os dados podem ser visualizados e registrados.

A alcalinidade total foi medida pelo método Titulométrico de Neutralização em que se mede a concentração de íons carbonatos e bicarbonatos na água. Primeiramente adicionou-se 50 ml da amostra em um frasco Erlenmeyer, onde é posteriormente adicionado 3 gotas da solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila; em seguida titulou-se com a solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) até a mudança da cor azul-esverdeada para róseo, anotando-se então o volume total de H₂SO₄ gasto (V) em mL. A alcalinidade (em mg/L) é dada pela fórmula abaixo:

$$\text{Alcalinidade Total em mg/L de CaCO}_3 = V \times 20$$

4.6.3 Análise de ânions

As amostras de água foram transportadas até o Laboratório de análise de Cromatografia Iônica (CI) no Instituto de Geociências da Universidade de Campinas (UNICAMP) e para a determinação quantitativa dos ânions utilizou-se a técnica da cromatografia de íons utilizando-se equipamento Dionex/Thermo Scientific, modelo ICS-2500. Foram determinadas as concentrações dos ânions F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Br⁻ e do fosfato (PO₄³⁻) nas amostras de água coletadas durante as estações seca e chuvosa. A seguir são apresentados os limites de

detecção (LD) do método para cada ânion analisado.

Quadro 2. Limites de Detecção do Cromatógrafo Ionico para as análises de ânions nas amostras.

Ânions	Limite de Detecção em mg/L
F ⁻	0,001
Cl ⁻ e PO ₄ ³⁻	0,015
NO ₂ ⁻ e Br ⁻	0,005
NO ₃ ⁻	0,003
SO ₄ ²⁻	0,010

O princípio de funcionamento da cromatografia iônica envolve a separação dos componentes de uma mistura por meio de uma fase fixa, representada pela resina de troca iônica. Os íons dissolvidos na solução amostrada (fase móvel) interagem com os grupos funcionais presentes na resina. Para o caso da análise envolvendo ânions, íons OH⁻ do grupo funcional são trocados pelos ânions presentes na solução amostrada ao longo da coluna de troca aniônica.

4.6.4 Análise dos elementos traço

Neste trabalho o termo “elemento traço” foi utilizado para definir os elementos metálicos (ex. Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Zn) semi-metálicos (ex.As) e outros que aparecem no meio ambiente em concentrações na ordem de partes por milhão (ppm) ou partes por bilhão (ppb) (OSLON, 2014). As amostras de água, foram mantidas resfriadas até o laboratório de análise no Instituto de Geociências da UNICAMP. As concentrações de elementos traço foram determinadas por um Espectrômetro de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) da X series II Thermo equipado com Collision Cell Technology, que possibilita determinações multielementares rápidas e com baixos limites de detecção numa variedade de matrizes, dentre elas águas e MPA. O ICP-MS permitiu a análise da concentração de 56 elementos traço presentes nas amostras de água. A partir das concentrações obtidas, foram escolhidos os elementos Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn para serem tratados e discutidos neste trabalho. A calibração do instrumento foi efetuada com soluções multielementares preparadas a partir de soluções monoelementares de 100 mg/ L. O controle de qualidade das medidas foi efetuado pela análise do material de referência “*River water reference material for trace metals*” (SLRS-5). O LD foi estimado em ng/ml e encontra-se descrito no ANEXO II para todos os elementos analisados.

4.7 Coleta das amostras de MPA

A coleta de amostras de MPA ocorreu nas escolas A de Santarém e D de Mojuí dos Campos. Dentre as escolas de Santarém, optou-se pela escola localizada mais a leste na cidade de Santarém, evitando-se a interferência da pluma da cidade na composição do MPA. Na coleta utilizou-se o equipamento Impactador de Cascata de Oito Estágios da marca Energética® Modelo 20-800, do Laboratório de Ciências Atmosféricas da UFOPA. O ar entra no equipamento através de uma bomba de sucção a vácuo ligada em energia elétrica, 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 (de zero ao sétimo e mais o último estágio denominado “*back up*” totalizando nove estágios de coleta).

As partículas de MPA de menor porte aerodinâmico passam por inercia para os estágios mais profundos e as maiores ficam retidas nos primeiros estágios do equipamento. O equipamento utilizado é indicado para a coleta de aerossóis “Não viáveis” (não biológicos) e, também, é o instrumento adequado quando se pretende comparar ao sistema respiratório humano e os diferentes tamanhos de partículas coletadas. O Impactador atende à Resolução nº 3 do CONAMA, de 29/06/90 (BRASIL, 1990), como método de referência para coleta de partículas inaláveis.

Na Figura 10 mostra-se os estágios do Impactador utilizado no presente estudo, bem como, as partes correspondentes ao sistema respiratório humano de deposição das partículas de MPA.

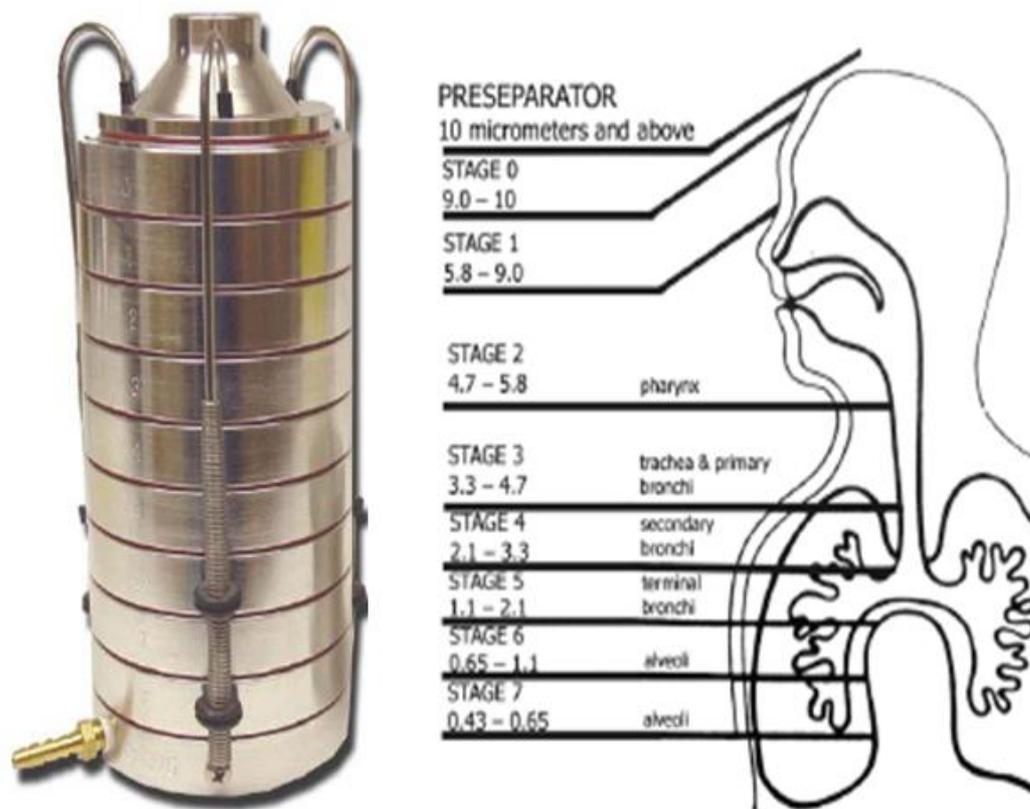


Figura 10. Impactador de cascata em oito estágios utilizado para a coleta de MPA e sua comparação com o sistema respiratório humano.

(TISCH ENVIRONMENTAL, 1999 - Adaptado)

O equipamento foi posicionado dentro das escolas selecionadas, 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 do MPA foi realizada por um período de 7 dias consecutivos, de forma intermitente. A primeira coleta ocorreu na escola A 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 D, 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, sendo que a primeira coleta, os filtros foram destinados para análise de elementos traço por ICP-MS e a segunda coleta os filtros foram destinados para análise de íons solúveis. 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 A ocorreu do dia 07 a 14/03/2016 e na escola D ocorreu de 16 a 23/03/2016. Os dados meteorológicos (precipitação; temperatura máxima média; temperatura mínima média e umidade relativa) para o período de coleta do MPA nas escolas foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.8 Métodos analíticos para amostras de MPA

4.8.1 Análise gravimétrica

A quantificação da massa do MPA retida nos filtros foi realizada utilizando-se a análise gravimétrica. Essa análise consiste em pesar todos os filtros antes e depois da amostragem em uma balança Sartorius CP225D, com precisão de 0,01 mg, localizada no Laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências da UNICAMP, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa. Cada filtro foi pesado três vezes, posteriormente foi obtido um valor médio dos três valores.

Neste procedimento, que segue o protocolo internacional ISO/CD 15767, os filtros passam por um período de estabilização prévia dentro do laboratório e através da diferença de massa, antes e após a coleta, obtém-se a massa líquida depositada em gramas. Ressalta-se que, para controle de qualidade dos processos analíticos, são utilizados filtros brancos que são levados a campo e que passam 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 nº0 ao nº04 (totalizando cinco filtros) correspondente ao intervalo granulométrico de 10 µm até 2,1µm (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 2,1µm até 0,43µm (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. Onde 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.

4.8.2 Análise das fases solúveis

Posteriormente a análise gravimétrica, os filtros foram recortados em pedaços menores e acondicionados em tubos de centrífuga de 50 mL aos quais adicionou-se 15 mL de água ultrapura e estéril. Uma vez concluída a etapa anterior, os tubos foram colocados sob agitação mecânica durante 5 horas à 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. Após, 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 F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Br⁻ e PO₄³⁻ e os cátions NH₄⁺; Na⁺; Li⁺; K⁺; Mg⁺² e Ca²⁺ do MPA coletado durante a estação seca. Os limites de detecção do método para ânions foram considerados os mesmos anteriormente apresentados para as análises de CI das águas. Os limites de detecção para os cátions são indicados a seguir.

Quadro 3. Limites de Detecção do Cromatógrafo Ionico para as análises de cátions nas amostras.

Cátions	Limite de detecção em mg/L
NH ₄ ⁺ e Na ⁺	0,020
Li ⁺	0,004
K ⁺ e Ca ²⁺	0,050
Mg ⁺²	0,030

4.8.3 Análise de elementos traço

Os filtros amostrados e brancos foram recortados em pedaços e colocados em tubos de centrífuga de 50 ml, aos quais foi adicionado 15 mL de uma solução de HNO₃ (1%) para extração de elementos traço. Ressalta-se que para essa extração realizou-se um ataque fraco com HNO₃ a 1%, portanto, trata-se de uma extração parcial. Alguns elementos químicos contidos em silicatos, por exemplo, não foram extraídos e os resultados correspondem, portanto, à composição química parcial do MPA.

Após a adição do ácido fraco, todos os tubos permaneceram durante 5 horas em um agitador mecânico à 115 rpm, a temperatura ambiente, visando a máxima interação do ácido com as partículas retidas no filtro, o que permitiu, conseqüentemente, uma melhor extração dos elementos químicos para a solução. Após esse período, os extratos foram filtrados com filtros Millipore de 0,22 µm de tamanho do poro. Na seqüência, 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 no MPA. A partir das concentrações obtidas das amostras de MPA (fração grossa e fina), foram escolhidos os elementos Al, As, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn para serem apresentados e discutidos neste trabalho. O limite de detecção do método para os elementos traço avaliados foram os mesmos apresentados previamente para as análises de água e encontram-se no ANEXO II.

4.9 Coleta de dados sobre morbimortalidade por doenças diarreicas e respiratórias em Santarém e Mojuí dos Campos

Os dados sobre morbimortalidade por doenças relacionadas a água e ar foram coletados acerca da população de Santarém e Mojuí dos Campos. No município de Santarém os dados foram obtidos por meio da Divisão de Saúde e do Hospital Municipal de Santarém. Os dados sobre a população de Mojuí dos Campos, foram coletados por meio da Secretaria Municipal de Saúde de Mojuí dos Campos e do Hospital Municipal de Santarém, uma vez que o mesmo é referência para atendimentos de média e alta complexidade da cidade de Mojuí dos Campos. Os dados coletados foram correspondentes aos anos de 2014, 2015 e 2016. A pesquisa foi autorizada pelas Secretarias Municipais de Saúde de cada município, bem como, pelo Hospital Municipal de Santarém e Divisão de Saúde de Santarém (ANEXO III).

Na Divisão de Saúde de Santarém e na Secretaria Municipal de Saúde de Mojuí dos Campos os dados obtidos foram provenientes de: (i) Sistema de Informações de Vigilância Epidemiológica (SIVEP) para a coleta do número de casos de DDAs segundo a idade e o período do ano de maior acometimento (ii) do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM) para a coleta de informações sobre mortalidade por doenças diarreicas – intestinais e doenças respiratórias nos municípios. No Hospital Municipal de Santarém, a coleta dos dados ocorreu

por meio e consulta ao Sistema Integrado de Informatização de Ambiente Hospitalar (HOSPUB). Esse sistema fornece informações para gerenciamento, gestão e controle social do SUS em unidades hospitalares. No (iii) HOSPUB obteve-se o número de internações ente 2014, 2015 e 2016 por doenças respiratórias e diarreicas, bem como, a idade e o período do ano (durante a estação seca ou chuvosa).

Os indicadores foram calculados para os anos de 2014, 2015 e 2016, segundo a faixa etária – menores de um ano, de um a quatro anos e de cinco a nove anos, e o total (grupo de crianças menores de 10 anos) – conforme detalhado a seguir:

- Prevalência específica de DDAs: dividiu-se o número total de casos de DDAs por ano e faixa etária especificada pelo número total de crianças residentes no mesmo local, da mesma faixa etária e no mesmo ano, multiplicado por 1.000 crianças;
- Taxa de hospitalização por doença diarreica e por doença respiratória: dividiu-se o número de internações por tipo de causa (diarreia ou respiratória) na faixa etária especificada por ano pelo número total de crianças residentes no mesmo local, da mesma faixa etária e no mesmo ano, multiplicado por 1.000 crianças. Para esse cálculo considerou-se a população da região micro geográfica de Santarém, pelo fato do hospital municipal ser de referência na região;
- Taxa de mortalidade específica por doença diarreica e doença respiratória: dividiu-se o número de óbitos por causa específica (diarreia ou doença respiratória) na faixa etária especificada por ano pelo número de crianças residentes no mesmo local, na mesma faixa etária e no mesmo ano, multiplicado por 100 mil crianças;
- Mortalidade Proporcional por doença diarreica e doença respiratória: dividiu-se o número de óbitos por causa específica (diarreia ou doenças respiratórias) notificados na faixa etária especificada por ano pelo número de óbitos por todos os agravos notificados no mesmo local, na mesma faixa etária e no mesmo ano multiplicado por 100 crianças.

Para todos os cálculos de indicadores epidemiológicos, a população foi estimada com base em estatísticas no último senso demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As informações sobre estimativas populacionais foram obtidas a partir do Sistema de Recuperação Automática (SIDRA), no Universo de Características da População e dos Domicílios. Na Tabela 2, são apresentadas as estimativas populacionais por faixa etária nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos entre 2014 a 2016. A região micro geográfica de

Santarém inclui os municípios de Monte Alegre, Alenquer, Prainha, Placas, Belterra, Mojuí dos Campos, Curuá e Santarém. Para os cálculos, considerou-se o termo “crianças” de acordo com a faixa Estatuto da Criança e do Adolescente (BRASIL, 1990).

Tabela 2. População estimada de crianças menores de 10 anos residentes nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos e na região micro geográfica de Santarém, de acordo com a faixa etária nos anos de 2014, 2015 e 2016.

	Santarém			Mojuí dos Campos			Região micro geográfica de Santarém		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
< 01 ano	5.592	5.641	5.678	296	298	300	9.933	10.003	10.072
01 a 04 anos	23.110	23.269	23.422	1.220	1.229	1.236	41.929	42.228	42.517
05 a 09 anos	30.337	30.545	30.747	1.600	1.612	1.623	56.620	57.025	57.415

(IBGE- SIDRA, 2017b)

4.10 Análise dos resultados analíticos de água e MPA

As concentrações químicas em água foram comparadas com os padrões estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde 2914 de 2011 (BRASIL, 2011a). Quanto à qualidade do MPA considerou-se, os padrões de qualidade do ar recomendados pelo Decreto Estadual de São Paulo 59113 de 2013 (BRASIL, 2013), que está fundamentado nas diretrizes da OMS (WHO, 2005) e se configura como a diretriz brasileira mais recente em termos de qualidade do ar.

Para a avaliação quantitativa de risco a poluentes advindos da água, aplicou-se a metodologia proposta pela USEPA (1989). Os riscos para a saúde da exposição a poluentes incluem riscos não carcinogênicos e carcinogênicos. Nesse trabalho, avaliou-se a exposição através da ingestão de água para escolares que frequentam as escolas A, B, C e D. Os riscos não carcinogênicos foram avaliados estimando-se o Coeficiente de Risco e o Índice de Risco para o consumo de água de cada escola durante os 6 meses de coleta. O Coeficiente de Risco foi calculado como sendo a razão entre a dose ambiental de Exposição (E) e a Dose de Referência (R/D) que foi obtida no Sistema Integrado de Informações de Risco (IRIS) da USEPA (2014) em mg/kg/dia. As R/Ds utilizadas foram em mg/kg/dia: Al= 0,018; As= 0,0003; Ba e B = 0,2; Cd = 0,0005; Cr = 0,003; Cu = 0,04; Mn = 0,14; Ni = 0,02; Zn = 0,3 e o Nitrato = 1,6. O risco não carcinogênico foi calculado apenas para os compostos químicos que tiveram suas doses de referência estabelecidas pela IRIS. O cálculo para a dose de exposição (E) através da ingestão é feito usando-se a equação a seguir:

$$E = CF * IR * EF * ED / Bw * AT$$

Onde, o E é a dose de exposição diária através da ingestão oral (mg/Kg/ dia); CF é a concentração média do elemento químico em água (mg/L); IR é taxa de ingestão de água pelas crianças (Litro); EF é a frequência da exposição (dias/ano); ED é a duração da exposição (anos); Bw é o peso corporal (kg) e AT é o tempo médio da exposição (dias).

Na Tabela 3, a seguir, são indicados os parâmetros utilizados nos cálculos da equação acima mencionada, a descrição dos parâmetros utilizados e a referência utilizada.

Tabela 3. Parâmetros utilizados para o cálculo de exposição a elementos químicos na água na avaliação quantitativa de risco a saúde de escolares em Santarém e Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Parâmetro	Descrição	Valor (Unidade)	Referência
CF	Concentração média do elemento químico na água	Água (mg/L)	Presente estudo
IR criança	Taxa de ingestão de água	1,26 (L/dia)	USEPA, 1996
EF	Frequência de exposição a água	275 (dias)	USEPA, 1996
ED	Duração da Exposição	06 (anos)	USEPA, 1996
Bw criança	Peso médio criança	15 (kg)	USEPA, 1996
ATnc	Tempo médio para efeito carcinogênico criança	ED x 275 (1650 dias)	USEPA, 1996

O Coeficiente de Risco foi obtido para cada elemento químico (Al; As; Ba; B; Cd; Cr; Cu; Mn; Ni; Zn e Nitrato) e quando o valor da razão excedeu a uma unidade, caracterizou-se como risco para a saúde humana, com a possibilidade de efeitos não cancerígenos da exposição ambiental a essas substâncias. Posteriormente, calculou-se o Índice de risco, definido como o risco total, foi obtido somando-se o Coeficiente de Risco de cada elemento. Os valores do Índice de Risco abaixo de uma unidade são considerados seguros e acima de uma unidade indicam risco a saúde humana (USEPA, 1989).

5- Resultados e Discussão

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Perfil sócio-demográfico e de exposição hídrica e atmosférica dos escolares

Essa etapa da pesquisa foi realizada por meio da coleta de informações a partir de questionários. A coleta desses dados ocorreu na escola A de Santarém e na escola D de Mojuí dos Campos, no total obteve-se 205 questionários respondidos por escolares de Santarém e 64 por escolares de Mojuí dos Campos.

As informações obtidas mostraram que os escolares residem no próprio bairro da escola, apresentaram idade entre seis a 15 anos e a maioria deles (91,7% escola de Santarém e 90,6% escola de Mojuí dos Campos) residem em famílias com mais de cinco pessoas que recebem de um a dois salários mínimos por mês. Os responsáveis pelos escolares que declararam possuir o ensino médio completo como nível de escolaridade foram 51,2% na escola de Santarém e 34,3% na escola de Mojuí dos Campos. Quanto ao tipo de água que abastece o domicílio dos escolares, os dados revelaram que a maioria (51%) dos investigados na escola de Santarém utilizam água proveniente de poços da COSANPA, seguido de 32% que alegaram receber água subterrânea de poço raso privativo, 15% recebem água de poços rasos gerenciados pela Prefeitura de Santarém (denominado de microssistema) e uma parcela pequena (2%) utilizam águas engarrafadas. Dessa forma, os dados mostram que 47% dos escolares entrevistados na escola de Santarém recebem em domicílio água de poços rasos.

No município de Santarém é cada vez mais comum a perfuração de poços rasos domiciliares como alternativa ao abastecimento público. O grande percentual de Santarenses que utilizam poços rasos em seus domicílios, de acordo com Andrade (2015), poderá ser explicado devido a um descrédito por parte da população na utilização de água proveniente de setores públicos. Tal fato, segundo a autora, relaciona-se com as interrupções constantes e ineficiências no abastecimento de água pela companhia de saneamento, o que tem proporcionado cada vez mais a perfuração de poços rasos no município de Santarém. Ainda segundo a autora, 21% dos entrevistados relataram que a perfuração de poços rasos foi a alternativa encontrada para a substituição dos serviços de abastecimento hídrico público. Os resultados de Andrade (2015) são congruentes com as respostas encontradas na escola de Santarém, e mostram que uma parcela importante da população Santarém consome água de poços rasos em seus domicílios.

Na escola D de Mojuí dos Campos a maioria (75%) dos escolares recebem água em seu

domicílio proveniente do mesmo sistema de captação subterrânea profunda (>200 m) da escola. Uma minoria (25%) dos investigados da escola de Mojuí dos Campos recebem em domicílio água de poço subterrâneo raso, nesses casos são escolares que residem em áreas periféricas de Mojuí dos Campos. Dessa forma, os escolares de Mojuí dos Campos em sua maioria, durante o período que estão na escola e no domicílio, recebem água subterrânea do poço de captação profunda (> 200 m). Esse fato sugere que os escolares de Mojuí dos Campos podem estar mais protegidos das doenças de veiculação hídrica quando comparados com os escolares de Santarém, uma vez que segundo a OMS (2006) a água de abastecimento proveniente de poços profundos são mais preservadas em termos de contaminação (WHO, 2006). Não houveram relatos de consumo de água engarrafada por alunos de Mojuí dos Campos.

Quanto à presença de reservatórios domiciliares para armazenamento da água (caixa d'água), a maioria, (67% na escola de Santarém e 95% na escola de Mojuí dos Campos) possui caixa d'água em seus domicílios. Além disso, a maior parte dos responsáveis (82% escola de Santarém e 94% na escola de Mojuí dos Campos), responderam de forma correta quanto ao período de limpeza da caixa d'água (seis meses). Vale ressaltar, que as casas que não possuem caixa d'água, a água é armazenada normalmente em cisternas ou em galões, a partir de pontos de água provenientes de tubulações da rua. Os responsáveis pelos escolares alegaram que o alto custo da bomba elétrica para impulsionar a água até a caixa d'água desencoraja a implementação desses reservatórios suspensos para armazenar a água nos domicílios. Os reservatórios de água embora bastante utilizados no Brasil, podem representar riscos à saúde quando não são mantidos de forma adequada. As caixas d'água podem funcionar como depósito de impurezas trazidas pela rede de distribuição de água e/ou pela falta de vedação e limpeza correta do reservatório.

Quanto ao aspecto visual da água que chega ao domicílio dos escolares, a maioria dos entrevistados (84% na escola de Santarém e 95% na escola de Mojuí dos Campos), declarou receber uma água límpida e sem odores. Entretanto, embora os entrevistados tenham considerado a água limpa, a maioria relatou utilizar alguma medida para tratamento da água a ser ingerida no dia a dia do seu domicílio. Na escola de Santarém 60% dos entrevistados e na escola de Mojuí dos Campos 69% realizam alguma medida de tratamento da água antes de consumi-la. Dentre as medidas utilizadas que foram relatadas verificou-se o uso de filtro (carvão e barro), adição de hipoclorito de sódio, fervura e uso de pano para “coar” (filtrar) a água.

Na Figura 11 é apresentado o percentual e as respectivas medidas utilizadas para a

desinfecção prévia antes do consumo da água no domicílio dos escolares de Santarém e Mojuí dos Campos.

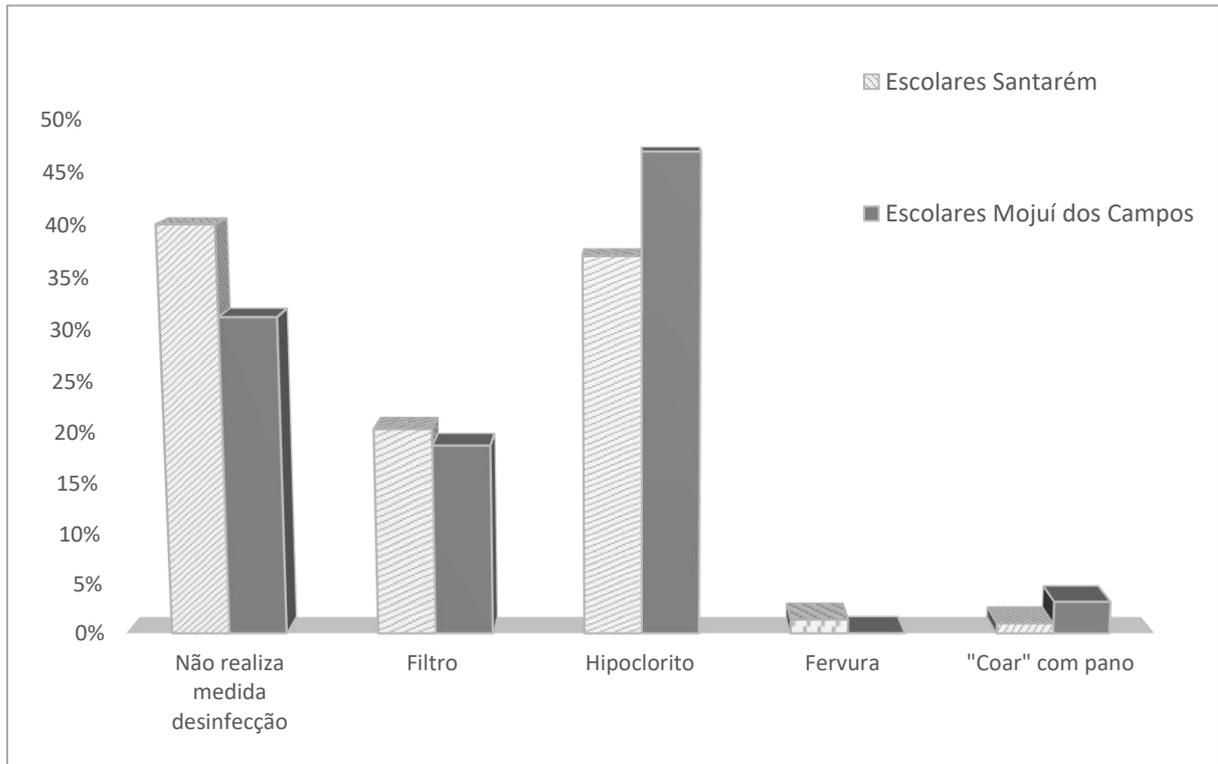


Figura 11. Formas de tratamento prévio da água de consumo em domicílio por escolares da escola A de Santarém e da escola D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

O tratamento da água pela população objetiva a inativação dos microrganismos patogênicos e pode ser realizada por intermédio de agentes físicos (ex. filtros) e ou químicos (ex. hipoclorito), visando prevenir as doenças de transmissão hídrica dentre elas as DDAs. Dentre as medidas mais recomendadas, o Ministério da Saúde, incentiva a distribuição a todos os estados brasileiros, da solução de hipoclorito de sódio a 2,5% para o tratamento da água utilizada para o consumo humano em domicílio. A água tratada com hipoclorito auxilia na prevenção das DDAs, em geral, causadas por vários agentes etiológicos como a *Shigella flexneri*, *Norovírus* e a *Entamoeba histolytica* (BRASIL, 2013a).

Em Santarém e Mojuí dos Campos, o hipoclorito de sódio a 2,5% é distribuído de forma gratuita nos postos de saúde para ser adicionado duas gotas em cada Litro de água não tratada ou de qualidade duvidosa. Entretanto, os participantes da pesquisa não conseguiram demonstrar de forma clara a quantidade adequada de gotas adicionada de hipoclorito de sódio para cada litro de água consumida, evidenciando fragilidade na utilização desse desinfetante na água de

consumo. Ao consultar a divisão epidemiológica de saúde sobre a distribuição de hipoclorito de sódio a 2,5% para ser adicionado na água na região de Santarém, observou-se que grande quantidade desse produto acaba vencendo o seu período de validade antes da sua distribuição nos postos de saúde, pela baixa adesão da população em utilizar essa medida. Na região de Santarém, outras medidas para o tratamento da água antes do consumo, inclusive recomendadas pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013a), foram relatadas pelos participantes do estudo como o uso de filtros domésticos e a prática de coar com pano e ferver a água.

Quanto a ocorrência e frequência de episódios de diarreias entre os escolares, os resultados mostraram que a maioria deles declararam não apresentar episódios de diarreia mensalmente (93% dos alunos da escola de Santarém e 95% dos alunos da escola de Mojuí dos Campos). Os resultados mostraram que a maioria dos escolares apresentam de quatro a cinco episódios de diarreia por ano. Quando apresentam algum episódio de diarreia, em geral (83% escola de Santarém e 81% escola de Mojuí dos Campos) procuram o serviço médico e uma minoria (9% escola de Santarém e 11% escola da Mojuí dos Campos) utiliza plantas para minimizar os sinais e sintomas, como por exemplo, o chá da “folha de goiabeira”.

Cerca de 79% dos alunos da escola de Santarém e 86% dos alunos da escola de Mojuí dos Campos relataram tomar medicamento uma vez por ano para a profilaxia contra microrganismos de origem parasitária como vermífugo. O medicamento é ofertado pela Secretaria Municipal de Saúde através do Programa Saúde na Escola e entregue na própria escola após o consentimento do responsável. A OMS (1996) recomenda o tratamento periódico com drogas (desparasitação) para todas as crianças que vivem em áreas endêmicas, uma vez por ano, quando a prevalência de infecções por helmintos na comunidade é superior a 20% e duas vezes por ano quando a prevalência de infecções por helmintos transmitidas pelo solo na comunidade é superior a 50%. Esta intervenção reduz a morbidade, mas precisa ser associada a outras ações importantes como a adoção de medidas adequadas de saneamento básico como tratamento de esgoto e distribuição de água potável, bem como, ações de educação em saúde (WHO, 1996).

A partir de uma meta-análise realizada por Hall et al. (2008), verificou-se que nos casos em que prevalência de helmintos em escolares for igual ou superior a 50% a profilaxia com antiparasitários leva a ganhos significativos no peso, altura e o IMC em comparação com controles não tratados. No entanto, é importante notar que as melhorias na antropometria não ocorrem como resultado da desparasitação isolada. Se os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento de recuperação não estiverem disponíveis, as taxas de

crescimento provavelmente permanecerão inalteradas. A desparasitação também tem sido associada a melhorias no apetite (LATHAM et al.,1990) o que pode contribuir para o aumento do crescimento, desenvolvimento e rendimento escolar.

Em relação as medidas antropométricas de peso, altura e IMC coletadas dos escolares, verificou-se que 25% e 21% dos escolares que responderam aos questionários apresentaram déficit de altura-para-idade em relação aos valores estipulados pela OMS (WHO, 2007) nas escolas de Santarém e Mojuí dos Campos, respectivamente. Além disso, cerca de 47% e 38% dos escolares de Santarém e Mojuí dos Campos, respectivamente, apresentaram déficit de peso-para-idade em relação aos valores da OMS (WHO, 2007) para curvas de crescimento e desenvolvimento infantil. Em relação ao IMC (determinado pelo quociente entre o peso corporal em Kg e o quadrado da altura em metro), 50% dos alunos de Santarém e 46 % dos alunos de Mojuí dos Campos estão abaixo dos valores recomendados pela OMS (WHO, 2007) para IMC segundo a idade. Esses resultados evidenciam agravos em saúde, provavelmente de origem multifatorial, devido uma parcela importante dos alunos avaliados apresentarem medidas antropométricas inferiores às recomendadas pela OMS (2007). Aponta-se para a necessidade do acompanhamento do desenvolvimento dos escolares e da importância do monitoramento da qualidade da água e do ar como uma ferramenta importante na promoção à saúde infantil, de forma que a água ingerida e o ar inalado não se tornem fatores agravantes nesses quadros. Além disso, segundo OMS (WHO, 2007), condições nutricionais infantis inadequadas e baixo nível socioeconômico são fatores de risco muito relevantes em quadros de morbidades e mortalidades associados a qualidade da água e do ar inalado.

Além das questões relacionadas à exposição a poluentes advindos da água de consumo, os escolares, também, foram investigados quanto ao adoecimento por doenças respiratórias. A partir das respostas, verificou-se que maioria deles nunca precisou se internar devido a uma doença relacionada ao sistema respiratório (93% escolares de Santarém e 86% escolares de Mojuí dos Campos). Além disso, 74% dos escolares de Santarém e 70% de Mojuí dos Campos, relataram não ter nenhum problema do sistema respiratório como sinusites, rinites, tosse frequente, asma, pneumonias entre outros. Ainda a partir dos resultados dos questionários, verificou-se que 29% dos entrevistados da escola de Santarém e 58% dos entrevistados da escola de Mojuí dos Campos realizam a queimada urbana de folhas, lixo, objetos, roupas, papéis entre outros, em seu domicílio. Esse tipo de queimada é vetado pela Lei de Nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998) e vem sendo fiscalizada pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de cada município. Além disso, o manejo adequado dos resíduos é uma importante

estratégia para a preservação do meio ambiente, assim como na prevenção de agravos em saúde (GOUVEIA, 2012), visto que as queimadas urbanas representam um papel importante na poluição atmosférica.

5.2 Qualidade da água de consumo humano nas escolas e implicações em saúde

A avaliação da qualidade da água consumida foi realizada em amostras (n=36) provenientes das quatro escolas A, B, C de Santarém e D em Mojuí dos Campos. A seguir, serão apresentados os resultados e a discussão quanto à qualidade microbiológica, os parâmetros físico químicos, sobre a composição química da água de consumo nas escolas e a avaliação quantitativa de risco a saúde humana por ingestão de alguns metais e nitrato pela água.

5.2.1 Qualidade microbiológica da água de consumo humano nas escolas

Na Tabela 4 são apresentados os resultados com o número de amostras positivas para cada parâmetro microbiológico avaliado e a quantidade de UFC/100 mL segundo o período de coleta nas amostras de água das escolas.

Tabela 4. Número (N) de amostras com resultados microbiológicos positivos e intervalo de UFC/100mL, segundo as coletas realizadas durante as estações seca e chuvosa nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Parâmetros microbiológicos	Escola A		Escola B		Escola C		Escola D		Valor de referência Portaria 2914
	N	UFC/100 mL							
Estação seca	<i>n</i> =6		<i>n</i> =3		<i>n</i> =3		<i>n</i> =6		
Bactérias Heterotróficas	Todas as amostras	73 -724	Todas as amostras	220- 484	Todas as amostras	396 – 1694	Todas as amostras	132 -643	< 50.000 UFC/100 mL
Coliformes totais	3 amostras	04 -512	3 amostras	01 - 06	2 amostras	02 – 146	3 amostras	01 – 14	Ausência
<i>E. coli</i>	Ausência	--	2 amostras	01- 02	Ausência	--	3 amostras	01 -02	Ausência
Parasitas	Ausência	--	Ausência	--	Ausência	--	Ausência	--	Ausência
Estação chuvosa	<i>n</i> =6		<i>n</i> =3		<i>n</i> =3		<i>n</i> =6		
Bactérias Heterotróficas	Todas as amostras	240 -1144	Todas as amostras	18 – 360	Todas as amostras	17 – 189	Todas as amostras	51 – 308	< 50.000 UFC/100 mL
Coliformes totais	6 amostras	02-348	2 amostras	300- 973	3 amostras	04 – 280	6 amostras	01- 69	Ausência
<i>E. coli</i>	4 amostras	02 - 07	1 amostra	15	2 amostras	01 - 163	4 amostras	02 – 33	Ausência
Parasitas	Ausência	--	Ausência	--	Ausência	--	Ausência	--	Ausência

UFC = Unidade Formadora de Colônias; -- não houve crescimento

Os resultados das análises microbiológicas das 36 amostras mostraram que as bactérias heterotróficas estiveram presentes em todas as amostras (100%) de água coletadas, os coliformes totais em 28 amostras (78%) e dessas 16 amostras (57%) apresentaram crescimento de *E.coli* na água de consumo das escolas. Não foram encontrados parasitas, ovos, cistos e larvas em nenhuma das amostras analisadas.

Segundo as recomendações da Portaria 2914, a água para consumo humano deverá apresentar ausência de coliformes totais, *E. coli* e parasitas. Os resultados encontrados para o presente estudo mostraram-se não conformes quanto a presença de coliformes totais e *E.coli*, excetuando-se as amostras coletadas durante o período da estação seca nas escolas A e C de Santarém para *E.coli*. A referida portaria não estabelece o quantitativo de UFC/100 ml para coliformes totais e *E.coli*, apenas, determina sobre a ausência desses microrganismos em água para consumo (BRASIL, 2011a). Entretanto, para todas as amostras com presença de crescimento microbiano, determinou-se a concentração expressa em UFC/100mL. Para o grupo de bactérias heterotróficas, a Portaria 2914 sugere apenas o quantitativo de UFC uma vez que é esperado a presença desse grupo na água, recomendando que a contagem nas amostras de água não ultrapasse o limite de 500 UFC/mL ou seja 50.000 UFC/100 mL,

Na Figura 12 é apresentada a quantidade média obtida de UFC/100 mL nas amostras de água para coliformes totais, *E.coli* e bactérias heterotróficas nas das escolas A, B, C e D segundo a estação de coleta.

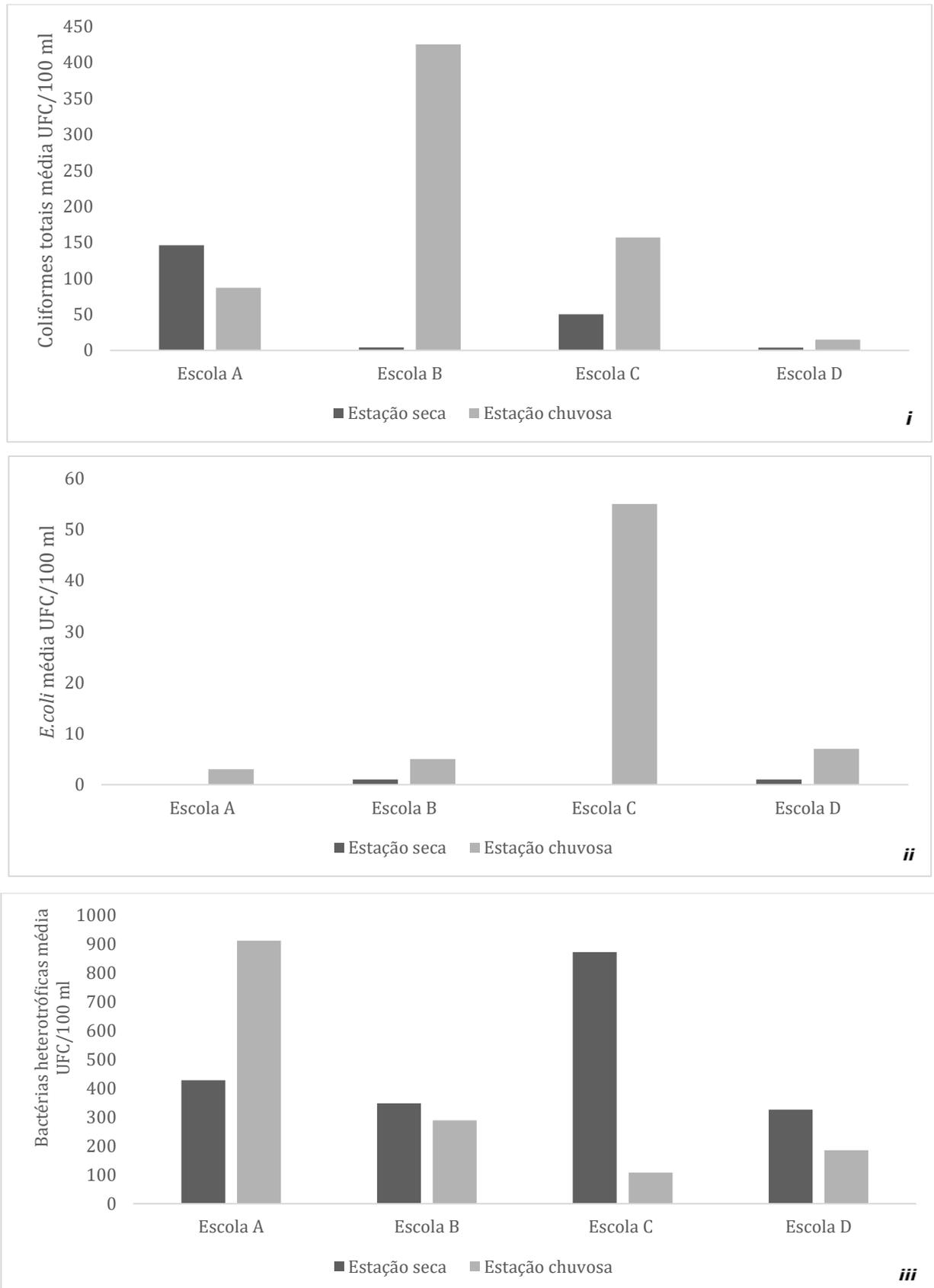


Figura 12. Valor médio de UFC/100 mL *i.* coliformes totais *ii.* *E. coli* e *iii.* bactérias heterotróficas em amostras de água das escolas A, B e C na cidade de Santarém e D em Mojuí dos Campos segundo as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016, Pará, Amazônia.

A presença de coliformes totais foi igualmente detectada nas escolas, entretanto, os valores encontrados para a razão UFC/100 mL, foram superiores nas escolas de Santarém (A, B e C) quando comparados com as amostras obtidas na escola Mojuí dos Campos (D). O maior valor de UFC/100 mL para coliformes totais foi encontrado na escola B durante a estação chuvosa (1273 UFC/100 mL). Os coliformes totais são indicadores de qualidade inadequada do tratamento da água abastecida à população e o seu crescimento nas amostras analisadas sugere que a água deve ter tido contato com matéria orgânica em decomposição e de origem fecal. A água nas escolas, por não ser tratada e nem clorada, é propícia à presença desses microrganismos. O cloro é um agente químico antimicrobiano que pode minimizar a presença desse grupo bacteriano na água. A sua aplicação é obrigatória segundo a Portaria 2914 num teor mínimo de 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição (BRASIL, 2011a).

Algumas justificativas para a presença de coliformes totais nas amostras de água podem ser levantadas. A proximidade entre poço e a fossa séptica nas escolas A e C de Santarém (de aproximadamente 15 metros), pode favorecer a presença e o número mais elevado de UFC/100 mL nas amostras. As fossas sépticas devem ser construídas na parte mais baixa do terreno e com uma distância mínima de 16 metros do poço de captação de água (USEPA, 2002). Além disso, outra possível justificativa deve-se a manutenção inadequada das caixas d'água nas escolas. Durante a coleta das amostras, observou que esses reservatórios localizavam-se de forma suspensa, nas escolas A, B e D estavam tampados e na escola C encontrava-se coberto com uma lona. A manutenção desses reservatórios nas escolas não apresenta uma rotina de limpeza. Normalmente, a limpeza ocorre apenas durante as férias escolares com solução de Hipoclorito. Na Figura 13 é mostrado o reservatório de água com uma vedação improvisada na escola C em Santarém.

Os resultados das análises biológicas de água do presente estudo são coerentes com o estudo realizado por Mendes et al. (2017). Os autores avaliaram a presença de coliformes totais em amostras de água de seis poços com profundidade entre 39 a 78 metros na cidade de Santarém, ao entorno de um local para despejos de resíduos sólidos no bairro do Santo André. Os autores encontraram que todas amostras foram positivas para coliformes totais (incluindo pontos de coleta a montante da área investigada) e o valor quantitativo de UFC/100 mL permaneceu entre 59 a 218, evidenciando, também, não conformidades com a Portaria 2914. Os autores atribuíram a presença desse grupo bacteriano em água subterrânea à contaminação por fossas sépticas.

Das 36 amostras de água coletadas, detectou-se a presença de *E.coli* em 11 amostras durante o período chuvoso e em 5 amostras de água durante a estação seca nas escolas. Os resultados apontam que 16 amostras tiveram contato com fezes humanas e/ou de animais que albergam

esses microrganismos em sua microbiota intestinal, especialmente no período chuvoso. Em relação ao número médio de UFC/100 mL, para esse grupo de bactérias, observou-se um aumento significativo durante a estação chuvosa em todas as escolas, sendo que a maior diferença observável foi encontrada na escola C. Esses resultados sugerem que os escolares podem estar mais vulneráveis aos efeitos da *E.coli* predominantemente durante o período chuvoso. Uma explicação para a presença de *E.coli* nas amostras de água, nas escolas de Santarém A e C, novamente, deve-se a proximidade da fossa ao poço e a captação em lençol menos profundo pode favorecer tal contaminação. A água coletada a partir de poços artesanais rasos (<30 m) é mais susceptível à infiltração de contaminantes dispostos no solo, o que poderá ser agravado durante períodos chuvosos, segundo Sousa, Silva e Oliveira (2014). Por outro lado, nas escolas B de Santarém e D de Mojuí dos Campos, a provável explicação para a presença de *E. coli* nas amostras poderá ser em decorrência da falta de manutenção adequada do reservatório de água, uma vez que a fossa e poço estão a uma distância superior a 50 m e a captação de água é por um sistema subterrâneo profundo (>200 m).



Figura 13. Reservatório suspenso de água (caixa d'água) na escola C de Santarém, desprovido de tampa e coberto com lona, Pará, Amazônia.

Os efeitos em saúde decorrentes da exposição a *E.coli* ocorrem especialmente quando alguns de seus sorotipos, como O157:H7 (considerado patogênico), estão presentes na água de consumo, pois são responsáveis por causar infecções intestinais e extraintestinais (HUNTER, 2003). Além disso, a presença de *E. coli* na água é extremamente preocupante, pois está associada desde quadros agudos e autolimitados de DDAs até casos mais crônicos e letais principalmente em crianças e idosos, gestantes e imunodeprimidos (SIQUEIRA et al.,2010).

A OMS (2006), argumenta que os efeitos mais drásticos em saúde da ingestão de água com a presença de *E coli* são as DDAs e Síndrome Uremêmica Hemolítica (causada por *E. coli* enterotóxica) (WHO, 2006). Um exemplo dos efeitos da *E. coli* foi relatado entre os participantes da Feira do Condado de Washington, Nova York (EUA) em 1999, em que um total de 951 pessoas contrairam diarreia, 65 pessoas foram hospitalizadas, 11 crianças desenvolveram síndrome hemolítica e duas pessoas morreram associado ao consumo de água subterrânea não clorada contaminada por *E.coli* (CDC, 1999).

Estudos realizados no Brasil apontam em sua maioria para resultados positivos para presença de coliformes totais e *E.coli* em amostras de água para consumo humano, incluindo as águas subterrâneas. Alves et al. (2016), investigaram 45 amostras de água subterrânea de poços residenciais na cidade de Ji-Paraná – RO quanto a presença de coliformes totais e *E.coli* e observou que 19 amostras (42 % do total) apresentaram presença de coliformes totais e dessas 17 amostras (89 %) apresentaram presença de *E. coli*. Os resultados deste estudo, também, foram compatíveis com aqueles obtidos em pesquisa realizada por Silveira et al. (2011) que avaliaram a qualidade microbiológica de água em 124 escolas públicas do Estado do Rio Grande do Sul. Eles relataram que as bactérias do grupo coliformes foram encontradas em 28 (23%) das 124 escolas, sendo que a maioria das amostras positivas (86%) foi coletada na torneira da cozinha. A presença de *E. coli* foi verificada em 13 (10%) amostras de água coletadas nas escolas (SILVEIRA et al., 2011). Na região amazônica os trabalhos que avaliaram a presença de bactérias em água restringem-se em sua grande maioria a amostras de águas superficiais (ex. rios e igarapés) (AZEVEDO, 2006; AGUIAR et al., 2014; ALVES et al., 2012). Poucos estudos abordam a presença ou ausência de *E.coli* em águas subterrâneas na Amazônia. Zan et al. (2012), analisaram 30 amostras de água de poço da zona urbana do município de Buritis (RO), e encontraram que as amostras de água apresentaram coliformes totais e *E.coli* em todos os setores avaliados do município.

Algumas medidas de tratamento da água e desinfecção são recomendadas para minimizar ou eliminar a ocorrência de coliformes totais e *E.coli* em água de consumo humano e consequentemente na prevenção de doenças diarreicas. Para as escolas sugere-se a instalação de

bombas dosadoras de cloro como uma medida de desinfecção da água, uma vez que a água utilizada não é clorada. Segundo a FUNASA (2014), existe um grande número de equipamentos utilizados no processo de cloração da água, dentre eles, destacam-se as bombas dosadoras elétricas de diafragmas e de pistão, hidro ejetores a vácuo, dosadores de nível constante, clorador de pastilha, geradores de hipoclorito, sistemas automatizados, entre outros. Todos eles funcionam satisfatoriamente dependendo da complexidade ou simplicidade de cada sistema de distribuição de água (BRASIL, 2014). Além disso, sugere-se que as escolas sejam encorajadas a criarem uma rotina semestral de limpeza dos reservatórios de água, bem como, de manutenção dos mesmos.

As bactérias heterotróficas nas análises de água das escolas, mostraram que em todas as 36 amostras houve crescimento microbiano, com valores que variaram de 17 a 1694 UFC/100 mL. A partir dos resultados, observou-se que quantitativamente o número médio mais elevado de colônias foi encontrado na escola A (912 UFC/100 ml) durante a estação chuvosa, seguido da escola C (872 UFC/100 ml) na estação seca. Os resultados obtidos foram os esperados e estão dentro das recomendações da legislação brasileira, uma vez que esse grupo de bactérias está amplamente presente no meio ambiente, inclusive em recursos hídricos. Apesar das bactérias heterotróficas não serem consideradas como patogênicas, elas podem contribuir para a deterioração da qualidade da água, provocando o aparecimento de odores e sabores desagradáveis quando os valores são superiores a 500 UFC/mL (BRASIL, 2011a). Esse grupo bacteriano não possui implicações em saúde humana, por não se tratarem de um grupo de microrganismos considerados patogênicos (WHO, 2017). A sua ocorrência em águas de consumo de consumo nas escolas poderá estar relacionada com a disponibilidade de nutrientes, incluindo carbono orgânico assimilável, falta do uso de desinfetantes (como o cloro) e a estagnação da água em reservatórios hídricos que favorecem a formação de biofilmes (WHO, 2017). Nas escolas o uso de sistemas de desinfecção (como bombas de cloro) seria uma medida eficiente e aconselhável visando a diminuição quantitativa desse grupo bacteriano.

Na totalidade das amostras de água das escolas de Santarém e Mojuí dos Campos não foram encontrados parasitas, ovos, cistos e larvas. Em geral, parasitas e helmintos são encontrados em águas superficiais e a captação subterrânea da água pode ter favorecido esses resultados. Ressalta-se que no presente estudo não se avaliou a presença de *Cryptosporidium spp.* em água das escolas em virtude da baixa incidência desse microrganismo em águas subterrâneas como indicado por Fregonesi et al. (2012) e, também, pelo alto custo dessas análises. Além disso, no Brasil, a Portaria 2914 recomenda a necessidade de monitorar a presença de *Cryptosporidium spp.* em água, perante sua significância sanitária, quando for identificada uma média anual maior

ou igual a 1.000 UFC de *E.coli* por 100mL em amostras de água (BRASIL, 2011a), o que não foi o caso encontrado para o presente trabalho.

5.2.2 Parâmetros físico- químicos e composição química da água de consumo humano nas escolas

Na tabela 5 são apresentados o valor médio, mínimo e máximo para as análises de pH, turbidez, condutividade e alcalinidade nas amostras de água das quatro escolas A, B, C e D.

Tabela 5. Concentração média (Méd) e valor mínimo (Mín) e máximo (Máx) dos parâmetros físico químicos avaliados em 36 amostras de água das escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos nas estações seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Parâmetros	Escola A			Escola B			Escola C			Escola D			Valor de referência Portaria 2914
	Méd.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Max.	
Estação seca													
pH	4,2	3,8	4,8	4,6	4,3	5,0	4,5	4,0	5,0	5,0	4,3	5,8	6,0 -9,5
Turbidez (NTU)	0,2	0,1	0,5	0,5	0,4	0,6	0,1	0,1	0,2	0,6	0,2	1,5	< 5,0 NTU
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	99,4	88,3	131	57,6	32	81	67,6	22	126	27,8	16,4	59	--
Alcalinidade (mg/L CaCO_3)	13,5	10,0	18,0	6,6	4,0	10	4,6	3,0	7,0	13,1	7,0	20,0	--
Estação chuvosa													
pH	4,3	4,1	4,8	5,2	4,6	5,9	4,6	4,0	5,4	4,7	4,4	4,9	6,0 – 9,5
Turbidez (NTU)	0,2	0,01	0,6	0,7	0,2	1,7	0,1	0,1	0,2	0,3	0,01	0,7	< 5,0 NTU
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	144	118	166	48,6	23	95	91,6	78	104	18,0	14,0	26,0	--
Alcalinidade (mg/L CaCO_3)	8,3	3,0	11,0	30	15	40	24,3	13	35	11,1	10,0	12,0	--

-- Valor não estabelecido pela Portaria 2914

Os resultados apontaram valores de pH inferiores ao recomendado pela Portaria 2914, com valores entre 3,8 – 5,9 nas amostras avaliadas. As amostras de água são ácidas e a sazonalidade não interferiu em alterações significativas nos valores de pH. O baixo valor de pH das águas subterrâneas nas escolas deve ser resultante de processos naturais, resultado do fluxo da água através de rochas siliciclásticas (arenitos) segundo Mendes et al. (2017). Processos alternativos, que segundo Edmundis e Smedley (1996) explicam acidez da água subterrânea, como a oxidação de pirita (drenagem ácida de minas) ou precipitação de chuva ácida, comum em áreas industriais, não são plausíveis na área de estudo.

Na região da amazônica, vários estudos têm indicado baixo pH (cerca de 4,5 - 5,0) em águas, na sua maioria as de origem superficiais (SIQUEIRA, APRILE, MIGUEIS, 2012; AGUIAR et al., 2014, ALVES et al., 2012). Em águas subterrâneas, um número menor de estudos realizados na região Amazônica, apontaram águas ácidas. Medeiros et al. (2016) encontraram pH ácido em amostras de água (4,0 a 4,6) em ambas as estações, em água proveniente de poços, consumida pelas comunidades ribeirinhas nos municípios de Abaetetuba e Barcarena, no leste do estado do Pará. Em outro estudo na Amazônia, Silva (2011) identificou pH da água entre 4,3 a 5,7 ao investigar as características hidroquímicas das água subterrânea na cidade de Manaus. Na região de Santarém, três estudos reportaram águas subterrâneas ácidas: (i) Tancredi (1996) encontrou valores de pH baixos para as amostras de água subterrânea variando de 4,0 a 4,7 em Santarém e em poços subterrâneos em localidades próximas; (ii) Nascimento, Fraia e Fenzl (2016) estudo conduzido na cidade de Santarém, avaliaram água de poços domésticos privados município, e encontraram valores de pH situados entre 3,9 a 4,8 para águas de consumo e (iii) Mendes et al. (2017), avaliaram a qualidade físico química da água subterrânea de seis poços (profundidade entre 34 a 78 m) no bairro Santo André em Santarém, e encontraram valores de pH entre 3,7 a 5,6.

A acidez da água subterrânea parece não ser uma característica apenas da região Amazonica mas, também, de outras partes da África, Ásia e América do Sul (EDMUNDIS, SMEDLEY, 1996). Os efeitos diretos em saúde, ou seja, decorrentes da ingestão de águas com pH mais baixo ainda permanecem incertos. Faltam estudos de cunho experimental disponíveis até o momento na literatura. A OMS (2003) relata apenas sobre os efeitos decorrentes da exposição dérmica a água com baixo pH, como a irritação nos olhos, na pele e nas mucosas (WHO, 2003a). McCloy et al. (1984), reportaram sobre a ingestão de bebidas ácidas em geral com a indução da queda do pH médio duodenal e redução significativa dos períodos de alcalinização duodenal. Além disso, um efeito indireto a saúde humana poderá ser associado ao pH baixo das águas, devido a

uma solubilização aumentada de minerais em água ácida, com a liberação, por exemplo, de Al, Cd e Pb o que pode resultar em concentrações mais altas desses elementos químicos em água de consumo (EDMUNDIS; SMEDLEY, 1996; WHO, 2003a).

Em relação a turbidez da água nas escolas, os valores obtidos mostraram-se baixos e estiveram entre 0,1 – 1,7 NTU e em acordo com as recomendação brasileira. A medida de turbidez relaciona-se com a presença de material em suspensão como partículas do solo, microrganismos e outras substâncias que alteram a cor da água e a deixa-as mais turvas (WHO, 2008). O parâmetro de turbidez não representa efeitos diretos em saúde, torna-se uma medida complementar de potabilidade da água.

Os valores mais altos de condutividade foram detectados em amostras de água das escolas A e C, variando de 67,6 a 144 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nas escolas B e D os valores foram menores, entre 27,8 a 48,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Uma provável explicação para esse fato pode ser a profundidade de captação de água, pois, segundo a CETESB (2009) e o Manual de Controle da Qualidade da Água da FUNASA (BRASIL, 2014), a condutividade da água expressa a quantidade total de íons dissolvidos e poderá aumentar à medida que mais substâncias são dissolvidas na água, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. As escolas A e C apresentam poços rasos e por isso podem estar mais suscetíveis a incorporação de poluentes o que favorece o aumento da condutividade, especialmente durante a estação chuvosa nas amostras avaliadas. Na região de Santarém, Tancredi (1996) encontrou valores de condutividade para águas subterrâneas variando de 11,4 a 28 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores encontrados pelo autor mostraram-se próximos dos obtidos para as escolas de poços profundos, C e D e foram muito mais baixos que os detectados nas amostras das escolas A e B. Em outro estudo realizado por Mendes et al. (2017) encontrou valores mais altos de condutividade (145 a 219 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em águas subterrâneas de poços com profundidade entre 39 a 94m em uma região próxima a uma área de despejo de resíduos sólidos em Santarém.

A alcalinidade da água apresentou uma ampla variação nos valores encontrados para as escolas. O menor valor (3,0 mg/L CaCO_3) para alcalinidade foi encontrado na escola A e o maior valor (40 mg/L CaCO_3) foi na escola B. Mesmo com variações nas amostras, os valores mostraram-se baixos e não representam implicações em saúde. Segundo o manual de “Orientações para Utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo” da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2005), o valor máximo de alcalinidade na água de consumo deverá ser de até 250 mg/L CaCO_3 . Até esse valor, alcalinidade não tem nenhum significado sanitário, no entanto, em níveis elevados, pode trazer sabor desagradável para a água e a tornar imprópria para consumo. Além disso, segundo Wynn et al. (2009), a ingestão de água muito alcalina deve estar associada a distúrbios eletrolíticos no sangue e na urina de humanos.

Mendes et al. (2017) encontraram valores de alcalinidade que variaram de 0 a 32 mg/L CaCO₃ em águas subterrâneas, valores congruentes com os resultados do presente estudo.

Na tabela 6 é apresentado o valor médio, mínimo e máximo das concentrações de ânions mais significantes na água das escolas durante a estação seca e chuvosa. Os boletins analíticos completos encontram-se descritos no ANEXO IV. Todas as amostras apresentaram concentrações de ânions em conformidade com a Portaria 2914. Na tabela 6 não foram incluídas as concentrações de NO₂⁻, PO₄³⁻ e Br⁻ devido se encontram abaixo dos limites de detecção do método. O nível baixo de NO₂⁻ indica que a contaminação da água por material biológico (microrganismos) pode não ser recente, uma vez que, o NO₂⁻ é o composto intermediário que se forma antes do NO₃⁻ durante a decomposição de material orgânico de origem animal e/ou vegetal (GADELHA et al., 2005).

As concentrações de ânions mais elevadas encontradas na água de consumo nas escolas foram para o NO₃⁻ (N), Cl⁻ e o SO₄²⁻. As concentrações de Cl⁻ na água de consumo, geralmente, advêm da dissolução de minerais ou da infiltração de águas marinhas em águas costeiras, e ainda, nas águas subterrâneas, podem ocorrer devido a contaminação por esgotos domésticos (WHO, 2004). O Cl⁻ somente em concentrações acima de 250 mg/L torna a água imprópria para consumo devido sabor alterado e por produzir propriedades laxativas em quem a consome (BRASIL, 2006). O SO₄²⁻ é um ânion comumente encontrado na água em baixas concentrações (em geral menores que 250 mg/L) e os efeitos em saúde decorrentes da exposição a concentrações elevadas de SO₄²⁻ são parecidos ao Cl⁻ e incluem episódios de diarreia e desidratação que são mais acentuados em crianças e idosos (WHO, 2004).

Tabela 6. Concentração média (Méd.), valor mínimo (Mín.) e máximo (Máx.) de ânions (mg/L) em 36 amostras de água coletadas nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos nas estações seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Parâmetros	Escola A			Escola B			Escola C			Escola D			Valor de referência Portaria 2914
	Med.	Min.	Max.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Max.	
Estação seca													
F ⁻	0,02	0,02	0,04	LD	LD	LD	LD	LD	LD	0,01	0,01	0,03	1,5
Cl ⁻	11,2	11,1	11,4	1,8	1,7	2,2	4,0	1,3	9,2	2,0	2,05	2,0	250
NO ₃ ⁻ (N)	5,8	5,7	6,0	0,5	0,2	0,8	1,9	0,06	5,6	0,1	0,09	0,1	10
SO ₄ ²⁻	6,8	6,7	7,2	0,3	0,1	0,6	0,2	0,1	0,4	0,7	0,7	0,8	250
Estação chuvosa													
F ⁻	0,02	0,02	0,03	LD	LD	LD	0,03	0,03	0,05	0,01	0,01	0,04	1,5
Cl ⁻	14,2	12,5	15,1	2,5	1,5	4,4	9,1	7,4	12,6	2,3	2,3	2,3	250
NO ₃ ⁻ (N)	8,0	7,1	8,7	0,3	0,04	0,8	5,4	4,3	7,4	0,1	0,1	0,2	10
SO ₄ ²⁻	8,6	7,6	9,5	0,8	0,1	2,0	0,5	0,4	0,51	0,6	0,6	0,6	250

LD = Abaixo do limite de detecção; VMP = Valor Máximo Permitido

As concentrações médias de NO_3^- (N), embora dentro do recomendado pela Portaria 2914, foram mais altas nas escolas A e C (1,9-8,0 mg/L) com poços rasos, do que as encontradas nas escolas B e D (0,1 a 0,5 mg/L) com poços mais profundos. Na Figura 14, são apresentadas as variações das concentrações de NO_3^- (N) nas amostras de água das escolas investigadas.

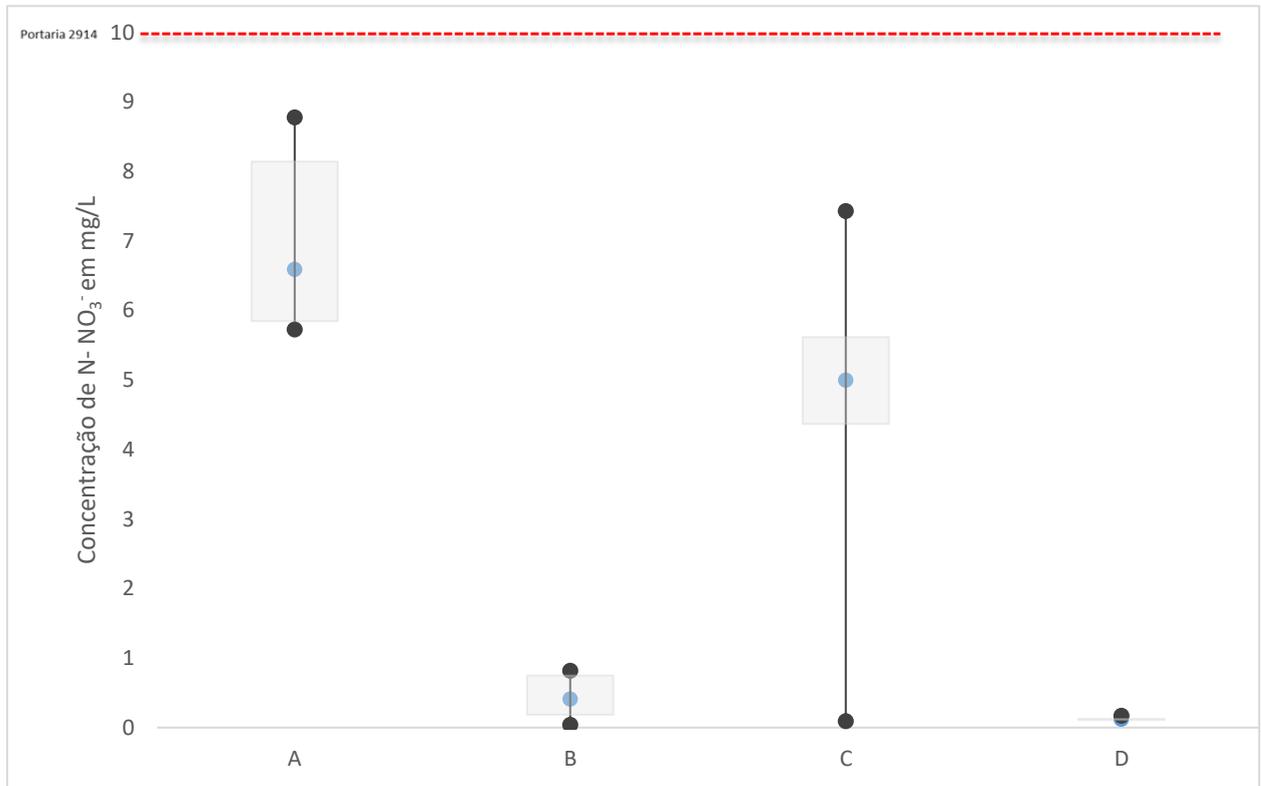


Figura 14. Box plot referente a variação das concentrações de nitrato (NO_3^- - N) em mg/L nas amostras de água das escolas A, B, C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Os resultados obtidos para as concentrações elevadas de NO_3^- (N) pelo presente estudo nas escolas A e C, sugerem que condições higiênicas sanitárias insatisfatórias possam estar ocorrendo, devido o NO_3^- (N) ser resultante dos estágios finais de decomposição da matéria orgânica. A contaminação da água subterrânea por NO_3^- (N) poderá ocorrer devido a sua infiltração nas camadas do subsolo. Segundo Majumdar e Gupta (2000) a elevada mobilidade e solubilidade do NO_3^- (N) em solos, permite que íons movimentem-se livremente em águas de drenagem até os aquíferos, predominantemente durante períodos chuvosos. Além disso, em áreas de intensa urbanização e crescimento populacional, a proximidade de fossas sépticas e poços rasos favorece a contaminação de águas subterrâneas por NO_3^- (N) (VANIER; HIRATA, 2002).

Estudos ao redor do mundo vem sendo desenvolvidos e enfatizam a importância do monitoramento do nitrato em águas de consumo humano (TANEJA et al., 2017; NALBANTCILAR; PINARKARA, 2016; CHIU et al., 2011). No Brasil, a maior parte da

literatura está voltada para regiões urbanizadas e industriais localizadas na região Sul e Sudeste (SILVA; FARIA; MOURA, 2017; PASSIG et al., 2015; SCORSAFAVA et al., 2013). Vanier et al. (2016) mostraram concentrações de NO_3^- (N) de até 16,9 mg/L na área urbana de Marília (SP). Tais concentrações localizam-se nas áreas de ocupação mais antiga da cidade e em poços de profundidades de até 150 m. Os autores sugerem que a contaminação esteja relacionada aos sistemas de esgotamento sanitário (fossas antigas e vazamentos na rede coletora de esgoto) e ocorre predominantemente no Aquífero Marília.

Na região Amazônica, estado do Pará, Medeiros, Lima e Guimarães (2016), avaliaram a qualidade da água de consumo provenientes de poços por comunidades ribeirinhas nos municípios de Abaetuba e Barcarena durante o período chuvoso e seco. Os autores encontraram concentrações elevadas de NO_3^- (N) de até 80 mg/L durante o período chuvoso nas águas de poços de Vila do Conde considerado um distrito pertencente ao município de Barcarena (PA). Vila do Conde localiza-se em uma região de beneficiamento e exportação de caulim, alumina, alumínio, cabos para transmissão de energia elétrica e outras atividades produtivas do agronegócio. Os autores atribuem às atividades produtivas e à urbanização realizada de forma desorganizada a poluição das águas subterrâneas (MEDEIROS; LIMA; GUIMARÃES, 2016).

Na região de Santarém, Tancredi (1996) encontrou valores muito baixos de N-NO_3^- entre 0 a 3,32 mg/L na água subterrânea de poços profundos da COSANPA na região de Santarém há cerca de 20 anos atrás. Os valores de Tancredi (1996) estão congruentes com as concentrações de N-NO_3^- encontradas para as escolas B e D no presente estudo. Outro estudo, realizado mais recentemente por Mendes et al. (2017), encontrou níveis de nitrato entre 3,2 a 16,3 mg/L na água subterrânea de poços em Santarém ao entorno de um local de despejo de resíduos sólidos. Os autores encontraram concentrações superiores as recomendadas pela Portaria 2914 em três dos seis pontos de coleta, com valores de até 1,6 vezes superior ao permitido (MENDES et al., 2017).

A presença de nitrato em concentrações elevadas na água de consumo vem sendo relacionada a agravos em saúde (JONES et al., 2016). A toxicidade a saúde humana do nitrato está relacionada principalmente com a conversão in vivo para o nitrito após a ingestão (SWAN, 1975). O nitrito poderá atuar em mecanismos oxidativos da hemoglobina, mudando-a para a methahemoglobina, que não pode ligar-se ao oxigênio (MANASSARAM; BACKER; MOLL, 2007). Essa complicação é conhecida popularmente como Síndrome do Bebê Azul, ou methahemoglobinemia, devido ao quadro cianótico que poderá ocasionar. Além da exposição via ingestão hídrica, o que contribui com 3-21% da ingestão média de NO_3^- , outras fontes de consumo de NO_3^- incluem: vegetais, carne e produtos à base de carne preservados com nitrito de sódio. Também existem evidências de formação de nitrato endógeno a partir da oxidação do

óxido nítrico independentemente das fontes dietéticas (WALKER, 1996). O NO_3^- também pode ser transformado em nitrosaminas e nitrosamidas, ambas com efeitos a carcinogênicos a longo prazo de exposição (ALABURDA; NISHIHARA, 1998). Dessa forma, os locais com um grande número de poços rasos privados onde as águas subterrâneas são vulneráveis à contaminação devem ser encorajados a aumentar o monitoramento ou a vigilância ao NO_3^- de tais sistemas.

Na Tabela 7 é mostrada a concentração química de alguns elementos traço detectados em maior abundância nas amostras de água. No ANEXO V encontra-se os boletins analíticos completos referentes as análises de todos os elementos traço dosados nas amostras de água das escolas. Em todas as escolas, os elementos químicos com as maiores concentrações na água foram o Al, Ca, K, Mg e o Na; seguido do grupo de elementos B, Ba, Cu, Fe, Mn e Zn, que apresentaram concentrações para o presente estudo relativamente baixas (valores máximos em ng/mL de B 9,3; Ba 39,7; Cu 137; Fe 12,0; Mn 11,9 e Zn 222). Por fim, os elementos As, Cd, Cr, Ni e Pb foram os que se apresentaram com as mais baixas concentrações (valores inferiores a 5,9 ng/mL) nas amostras e bem próximas ao limite de detecção do método. As baixas concentrações dos dois últimos grupos de elementos apontados, evidencia que os riscos carcinogênicos e outros efeitos adversos a saúde humana decorrentes da sua exposição pela água devem ser muito baixos entre os escolares das escolas estudadas.

Tabela 7. Concentração média (Med), valor mínimo (Min) e máximo (Max) dos elementos traço (ng/mL) nas amostras de água coletadas nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos durante a estação seca e chuvosa, Pará, Amazônia.

Elementos	Escola A			Escola B			Escola C			Escola D			VMP Portaria 2914 (ng/ml)
	Med	Min	Max	Med	Min	Máx	Med	Min	Máx	Med	Min	Max	
Estação seca													
Al	429	414	429	92	32	184	510	71	1371	39	37	41	200
As	0,04	0,02	0,06	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	10
B	8,4	7,5	9,3	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	LD	--
Ba	6,6	6,1	7,4	33,8	31,8	36,2	21,4	13,6	26,0	19,1	18,5	19,4	700
Ca	4271	4080	4387	234	158	383	1231	885	1691	130	121	153	--
Cd	0,004	0,002	0,007	0,01	0,01	0,02	0,007	0,004	0,01	0,02	0,02	0,01	5,0
Cr	0,02	0,02	0,04	0,05	0,04	0,07	0,14	0,04	0,3	0,04	0,03	0,05	50
Cu	6,1	4,8	7,7	32	24	58	2,0	1,5	2,2	9,3	2,8	27,1	2000
Fe	LD	LD	LD	8,3	6,2	11,5	9,6	8,0	12,0	LD	LD	LD	300
K	2177	2139	2217	1386	1333	1476	955	530	1778	144	138	152	--
Mg	593	585	612	172	150	207	564	469	679	116	115	119	--
Mn	10,8	10,5	11,0	5,5	5,0	6,4	7,9	6,2	11,2	4,2	4,0	4,2	100
Na	10342	10055	10440	1225	860	1832	3733	970	9257	853	832	870	200000
Ni	0,1	0,1	0,2	0,6	0,3	1,1	0,4	0,4	0,4	LD	LD	LD	70
Pb	2,9	0,4	10	2,8	1,6	1,8	0,9	0,2	2,2	0,4	0,2	1,1	10
Zn	11,3	9,7	16,9	50,5	18,4	93,7	4,3	3,2	5,7	11,1	6,9	23,3	5000
Estação chuvosa													
Al	625	586	672	53	36	83	1045	868	1353	43	37	54	200
As	0,07	0,05	0,1	0,01	0,01	0,02	0,1	0,06	0,2	0,02	0,02	0,05	10
B	6,8	6,4	7,3	2,3	1,7	2,6	3,4	2,6	3,8	LD	LD	LD	--
Ba	6,6	6,1	7,1	35,4	32,7	39,7	11,0	9,2	13,7	19,3	17,9	20,2	700
Ca	5675	5395	6109	337	163	613	1579	1223	2240	156	146	178	--
Cd	0,01	0,008	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,006	0,003	0,006	5,0
Cr	0,06	0,06	0,08	0,06	0,05	0,08	0,1	0,1	0,1	0,03	0,03	0,04	50
Cu	6,9	6,0	7,8	67,4	23,8	137	5,0	2,1	10,1	9,3	4,3	14,8	2000
Fe	LD	LD	LD	5,0	4,1	6,3	4,2	2,5	6,9	LD	LD	LD	300
K	2661	2585	2840	1530	1378	1458	1503	1190	1977	168	162	185	--
Mg	771	744	811	202	153	289	437	375	561	140	134	144	--
Mn	11,4	10,5	11,9	6,3	5,1	8,0	9,4	8,1	11,6	4,5	4,4	4,6	100
Na	13087	12649	13817	1760	905	3456	8337	6400	11760	944	916	981	200000
Ni	0,3	0,3	0,3	1,1	0,9	2,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	70
Pb	0,7	0,5	1,1	5,4	1,8	9,5	5,9	3,2	9,6	0,3	0,3	0,3	10
Zn	11,9	10,6	14,8	110	42,6	222	3,7	3,3	4,1	9,5	7,2	11,8	5000

LD = Abaixo do Limite de Detecção; VMP = Valor Máximo Permitido da Portaria 2914

Quanto aos cátions as concentrações nas amostras das escolas A e C foram em ordem decrescente $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Al}$; e nas amostras das escolas B e D foram $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Al}$. Os cátions em concentrações em aceitáveis são compostos comuns na constituição química das águas naturais (EDMUNDS; SMEDLEY, 1996). Esses elementos são chamados de essenciais a saúde humana, pois desenvolvem papéis importantes no metabolismo e fisiologia celular (BOWMAN, BOBROWSKY, SELINUS, 2003). A água é uma fonte importante para saúde humana desses elementos e a Portaria 2914 não estabelece limites máximos recomendáveis para Ca, K e Mg, somente para o Na e Al. O limite aceitável de Na na água baseia-se no sabor que poderá conferir, uma vez que águas com elevadas concentrações de Na se tornam salobras e não são recomendáveis para consumo humano. Os níveis de Na nas amostras de água encontram-se aceitáveis e em maiores concentrações nas escolas de poços rasos A e C. De forma semelhante, concentrações de Ca, K, Mg e Al foram superiores nas amostras de poços rasos. As concentrações desses compostos químicos, com exceção do Al, nas escolas de poços profundos (B e D) foram bem similares às encontradas por Tancredi em 1996. Os resultados sugerem que as águas de poços rasos das escolas mostraram-se mais suscetíveis a inconspicua desses elementos e recomenda-se a realização de monitoramento periódico de qualidade da água de consumo nessas escolas

As concentrações dos elementos traço avaliados nas amostras de água das escolas são inferiores aos valores máximos permitidos pela Portaria 2914, com uma única exceção do Al. O Al ultrapassou as concentrações recomendáveis em todas as amostras da escola A e em quatro amostras (das seis analisadas) da escola C. As concentrações de Al nas amostras de água da escola A variaram de 414 a 672 ng/mL e nas amostras da escola C de 71 e 1371 ng/mL. Ressalta-se que nas escolas A e C todas as amostras excederam as concentrações recomendadas para Al, com exceção de uma amostra coletada na escola C que obteve a concentração de 71 ng/mL durante a coleta realizada na estação seca. Nas amostras de poços profundos das escolas B e D, as concentrações de Al se mostraram em conformidade com a Portaria 2914. Na Figura 15 são apresentadas essas variações referentes as concentrações (ng/ml) para o Al nas amostras de água das escolas A, B, C e D.

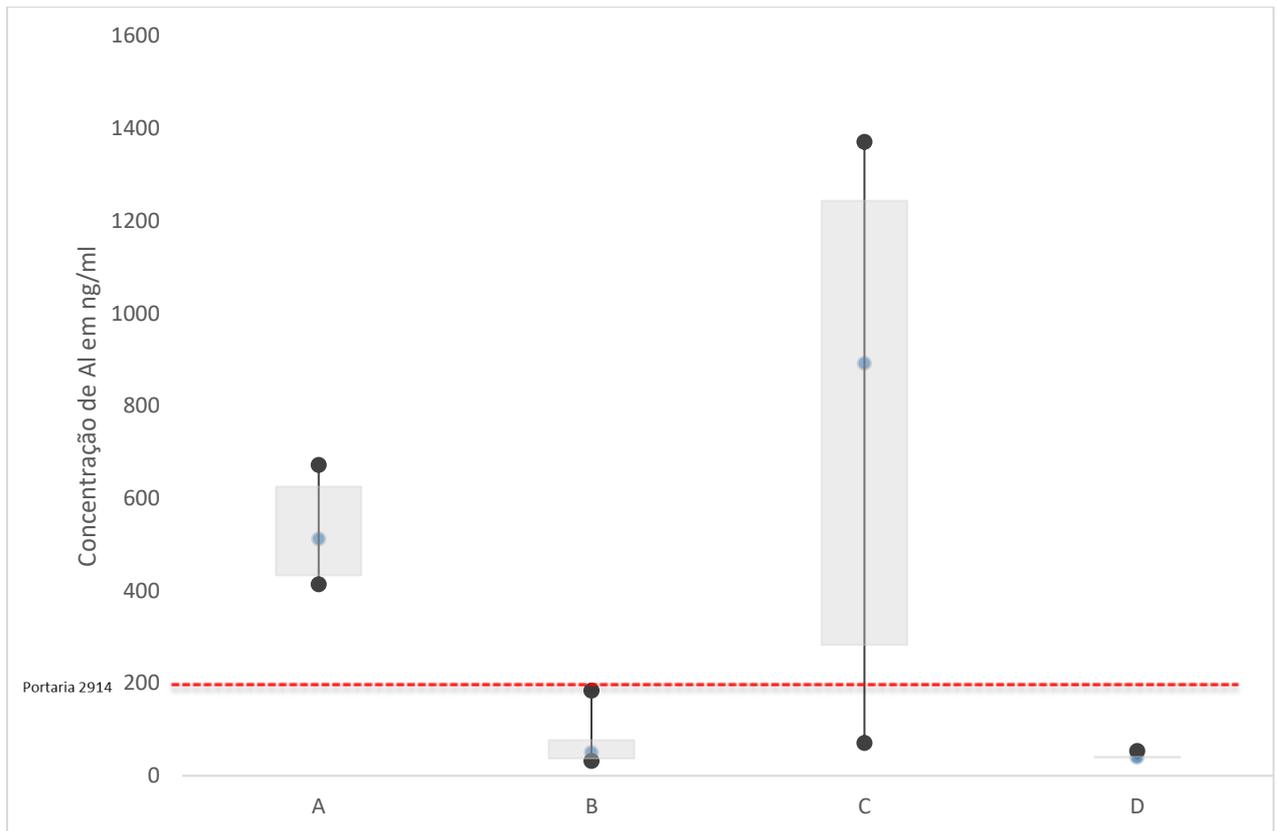


Figura 15. Box plot referente a variação das concentrações de alumínio (Al) em ng/mL nas amostras de água das escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

O Al é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre e é comumente encontrado no meio ambiente (água, rochas, ar e no solo). Neste estudo, a presença do Al em água deve ser resultante da interação natural entre água e rocha nas partes menos profunda do aquífero Alter do Chão. Fontes alternativas seriam resultantes da poluição industrial ou a decorrente da adição de sulfato de Al durante a etapa da floculação em Estações de Tratamento de Água (ETA), o que não se aplica neste caso. As concentrações de Al em águas naturais geralmente são inferiores a 100 ng/ml e apenas uma pequena quantidade de Al é ingerida através da água e por alimentos pelos seres humanos (ATSDR, 2008).

As concentrações de Al aumentam quando os valores de pH da água estão abaixo de 5,5, favorecendo a solubilização dos minerais portadores desse elemento (BACHE, 1986). Os solos ricos em matéria orgânica e ácidos (com pH abaixo de 5,5) são fatores contribuintes à mobilidade e à solubilidade do Al nas águas subterrâneas, especialmente em locais que ocorrem chuva ácida, áreas urbanizadas e em locais de mineração (ATSDR, 2008). Na região de Santarém a provável explicação para a ocorrência de Al na água subterrânea das escolas A e C relaciona-se com o pH da água, que por ser ácida favorece reações entre a água e as rochas com a liberação de Al nos aquíferos interceptados por poços menos profundos.

Os achados do presente estudo são coerentes com os dados reportados por Nascimento, Fraia e Fenzl em 2015, também, desenvolvido na cidade de Santarém. Os autores avaliaram as características químicas de águas subterrâneas provenientes de poços domésticos em Santarém, e encontraram níveis elevados (acima de 200 ng/mL) de Al em 06 das 09 amostras de água avaliadas. Os autores encontraram valores de Al que variam de 64 a 4374 ng/mL em amostras de água subterrânea de Santarém (NASCIMENTO; FRAIA; FENZL, 2016).

Em outras regiões do mundo foram encontrados níveis elevados de Al em água de consumo. O estudo de Bakar et al. (2010) apontou altas concentrações de Al em água de consumo humano na Península Biga (Turquia) devido a maior parte das nascentes dessa área ser constituída por rochas vulcânicas, fato que favoreceu o aumento das concentrações de Al em águas. Os autores encontraram concentrações superiores às recomendadas pela legislação do País e uma correlação com o aparecimento de doenças neurológicas nas populações expostas ao consumo dessa água. As concentrações de Al em água variaram de 13100 a 15700 ng/mL (BAKAR et al., 2010).

Os efeitos em saúde humana da exposição ao Al vêm sendo investigados desde 1965, em experimentos conduzidos em coelhos que mostraram uma possível relação entre Al e a doença de Alzheimer (ATSDR, 2008). Por volta de 1973, foi observado que pacientes com doença de Alzheimer tinham níveis aumentados de Al no organismo (FLATEN, 1988). Nos anos seguintes, estudos indicaram a existência de predisposição genética para a indução de danos cerebrais decorrente da exposição ao Al pela ingestão de alimentos e água com altas concentrações e o desenvolvimento de doença de Alzheimer (SOLFRIZZI et al., 2003). Estudos mais recentes, conduzidos em várias partes do mundo, demonstram a relação entre o consumo de água com níveis altos de Al e o desenvolvimento de danos cognitivos e demência (MOLLOY et al., 2007; MEYER-BARON et al., 2007).

Walton (2014), avaliou os efeitos da ingestão crônica de água contendo Al longo da vida utilizando-se de uma metodologia denominada de “Hill” que considerada nove causalidades epidemiológicas e experimentais nessa avaliação. Segundo o autor, a exposição hídrica a concentrações elevadas de Al não é mais controversa na determinação de efeitos adversos neurológicos em humanos, sendo a doença de Alzheimer é uma das formas de neurotoxicidade crônica do alumínio (WALTON, 2014).

Ressalta-se que existem estudos na literatura que não sustentam a relação entre altas concentrações de Al em água e o desenvolvimento de doenças neurológicas (FLATEN, 2001). Algumas explicações são propostas: (i) o Al, mesmo estando em altas concentrações na água, irá contribuir apenas com uma fração da dieta total ingerida pelo humano (ii) o Al é muito pouco absorvido pela via gástrica intestinal, menos do que 1% (FLATEN, 1988; ATSDR, 2008; WHO,

2010a).

Em crianças os efeitos são semelhantes aos adultos e poderão ser mais severos especialmente naquelas que possuem patologias associadas ao sistema renal. Os distúrbios renais diminuem a excreção do Al pelos rins e este elemento tende a se acumular nos ossos e no sistema nervoso central (ATSDR, 2008; WHO, 2010a), fato que se torna preocupante em crianças em idade de crescimento. Os efeitos no sistema esquelético ocorrem em decorrência da hipofosfatemia ocasionada pela diminuição de fósforo, devido esse composto se ligar à Al durante a sua absorção pelo sistema gástrico intestinal (ATSDR, 2008).

Os resultados encontrados sobre concentrações elevadas de Al na água nas escolas A e C, sugerem que novos estudos devem ser realizados, especialmente no que diz respeito à exposição de crianças com o consumo de água de poços rasos. É também recomendável o monitoramento frequente desse elemento em água de consumo, considerando o seu potencial em causar efeitos severos em saúde.

5.2.3 Avaliação quantitativa de risco a saúde de escolares por ingestão de água

Nesta etapa da tese, foi realizada a avaliação quantitativa de risco à saúde humana decorrente da ingestão de água nas escolas de Santarém A, B e C e na escola de Mojuí dos Campos D. Para isso, ranqueou-se os elementos químicos que podem ser mais ou menos perigosos a saúde humana através da ingestão de água nas escolas, com base nos procedimentos recomendados pela USEPA de 1989 e 1996, e por outros trabalhos, na mesma temática. Nessa abordagem são assumidos valores conservadores de exposição e de risco à saúde humana, visando indicar prioritariamente os contaminantes não perigosos, e verificar aqueles que merecem detalhamento (CASTILHOS et al, 2014). Diversas substâncias podem produzir efeitos não carcinogênicos em saúde e para avaliar a sua dose de entrada no organismo humano, considera-se a concentração da substância no meio ambiente e que entra em contato com o organismo exposto ao longo de uma unidade de tempo por peso corpóreo (ex. mg de alumínio/kg por dia) (MACHADO, 2017).

Ressalta-se que os valores obtidos para a dose de exposição ao risco não carcinogênico ao As, Cd e Cr foram inferiores a $3,9 \times 10^{-6}$ mg/kg/dia nas escolas em decorrência da concentração média nos dois períodos de coleta (seca e chuvoso) desses elementos na água ser muito baixa, inferior a 0,00005 mg/L para o As; a 0,00001 mg/L para o Cd e inferior a 0,0001 mg/L para o Cr. Por isso considerou-se ausência de risco não carcinogênico e carcinogênico para esses elementos nas escolas avaliadas.

Quanto ao risco não carcinogênico, na Tabela 8 é apresentada a estimativa de dose de

Exposição (E) para alguns metais e nitrato em água, calculado para a rota de ingestão (mg/kg/dia).

Tabela 8. Estimativa da dose de exposição (E) diária em mg/kg/dia para alguns metais e nitrato em água calculada para a via de ingestão por crianças nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Elementos	Dose de Exposição (E)			
	Escola A	Escola B	Escola C	Escola D
Al	$4,4 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-2}$	$3,4 \times 10^{-3}$
B	$6,0 \times 10^{-4}$	$9,0 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Ba	$6,0 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-3}$
Cu	$5,3 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-4}$
Mn	$9,3 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$7,2 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-4}$
Ni	$1,6 \times 10^{-5}$	$7,0 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-6}$
Zn	$1,9 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-4}$
NO ₃ ⁻ (N)	$5,7 \times 10^{-1}$	$3,6 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-1}$	$9,2 \times 10^{-3}$

Neste estudo, a ingestão de água subterrânea foi considerada a via potencial de exposição humana a contaminantes químicos para crianças. A partir dos valores obtidos da dose de Exposição aos contaminantes, realizou-se o cálculo do Coeficiente de Risco não carcinogênico. O Coeficiente de Risco foi calculado como a razão entre a dose de Exposição ambiental (mg/kg/dia) e as doses de referência (RfDs) de cada substância. As RfDs foram obtidas pela USEPA a partir de um Sistema Integrado de Informação de Risco – IRIS (USEPA, 2014). O Índice de Risco, que integra a exposição ambiental simultânea a todos os contaminantes avaliados, é o somatório dos valores de Coeficiente de Risco. Os valores <1 são considerados seguros e não sugerem preocupações em relação ao risco para a saúde humana. Os valores > 1 requerem detalhamento e gerenciamento do risco, uma vez que indicam risco a saúde humana. Na Tabela 9, são apresentados o Coeficiente de Risco para cada metal e nitrato e os respectivos Índices de Risco.

Tabela 9. Coeficiente de Risco não carcinogênico e o Índice de Risco à exposição oral (ingestão) de alguns metais e nitrato em água nas escolas A, B e C de Santarém e D de Mojuí dos Campos, Pará, Amazônia.

Elementos	Coeficiente de Risco			
	Escola A	Escola B	Escola C	Escola D
Al	2,45	0,33	3,40	0,19
B	0,003	0,0004	0,0009	0,0003
Ba	0,002	0,010	0,007	0,008
Cu	0,013	0,10	0,007	0,01
Mn	0,006	0,003	0,005	0,002
Ni	0,0008	0,003	0,001	0,0004
Zn	0,006	0,02	0,001	0,002
N- NO ₃ ⁻	0,36	0,02	0,20	0,005
Índice de Risco	2,84	0,48	3,62	0,21

A quantificação do risco não carcinogênico associado à ingestão de água nas escolas apresentou Índice de Risco acima de 1 apenas para as escolas A (2,84) e C (3,62). A ingestão de água por crianças nas escolas B (0,48) e D (0,21) foi considerada segura de acordo com a metodologia adotada para os elementos analisados. O Al apresentou Coeficiente de Risco > 1 nas escolas A e C e foi o elemento que mais contribuiu no risco no Índice de Risco com 86,2% e 94,6%, respectivamente. O segundo elemento químico de maior contribuição ao Índice de Risco nas escolas A e C foi o nitrato com 12,7% e 4,9%, respectivamente.

O risco não carcinogênico, evidenciado a partir do consumo de água nas escolas A e C em Santarém, indica como desejável o monitoramento contínuo da qualidade da água nessas escolas e a adoção de medidas para controle e diminuição da exposição ao Al e nitrato dos escolares.

A metodologia de estimativa de risco para a saúde vem sendo empregada principalmente em decorrência da exposição à saúde por contaminantes advindos de águas superficiais (ALVES et al., 2014; FERRÉ-HUGUET, NADAL, DOMINGO, 2009; LI, ZHANG, 2010). Para águas subterrâneas é menos usada. Na região Amazônica, até o momento, não foram encontrados relatos desse tipo de metodologia aplicados a contaminantes químicos, o que confere a este estudo um caráter pioneiro e original. No entanto, alguns estudos, como o de Castilhos et al. (2014), vem sendo realizados de forma que a aplicação da metodologia de avaliação de risco à saúde humana da USEPA (1989) tem sido estimulada como um grande auxílio na complementação dos dados oriundos da geoquímica.

Castilhos et al. (2014), avaliaram o risco potencial a saúde à exposição por ingestão de água

subterrânea para Ni, Hg, Zn, B e Ba em 12 poços na área urbana de Capitão Gervásio (Piauí), e encontraram Coeficiente de risco >1 para o elemento Ni em três poços amostrados. A presença de Ni na geologia regional pode ter favorecido a ocorrência de anomalias hidrogeoquímicas podendo ter ocorrido ainda a contaminação do solo durante a construção inadequada do poço (CASTILHOS et al., 2014). Turdi e Yang (2016), avaliaram crianças e adultos quanto à exposição a contaminantes químicos em água de poços em 4 regiões agrícolas e 2 áreas de pastagens na China. Os autores encontraram que o risco não carcinogênico esteve associado primordialmente ao Zn e o risco carcinogênico aos elementos Cr, As e Cd. O Índice de Risco foi maior em áreas agrícolas, onde foram encontradas elevadas concentrações de As e Cr nas águas de poços.

A metodologia de risco trata da geração de índices numéricos capazes de indicar a ocorrência de áreas críticas a serem priorizadas em programas de saúde pública e de controle ambiental (USEPA 1989; CASTILHOS et al., 2014), permitindo uma gestão mais eficiente de recursos limitados, tanto financeiros quanto humanos. No presente estudo, reconhece-se a limitação desta metodologia, uma vez que apenas foram calculados os riscos relativos a exposição a alguns elementos traço e nitrato, enquanto outros fatores de risco, como a presença de microrganismos e a acidez da água não fizeram parte desta estimativa. Pontua-se ainda, que outra limitação poderá estar relacionada ao contexto de investigação, que para esse trabalho, considerou-se somente água consumida durante o período escolar, excluindo-se a investigação domiciliar.

5.3 Caracterização do MPA inalável nas escolas e implicações em saúde

5.3.1 Concentração mássica e composição química inorgânica do MPA nas escolas

Nessa etapa da pesquisa, a coleta de amostras de MPA deu-se nas escolas A e D. A análise gravimétrica do MPA inalável foi realizada com a finalidade de quantificar a massa de MPA nas amostras. Foram determinadas as concentrações mássicas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) da fração grossa (partículas de 10 a $2,1 \mu\text{m}$) e da fração fina (partículas de $<2,1 \mu\text{m}$). Os resultados foram obtidos pela divisão das massas de MPA nas amostras pelo volume de ar amostrado ($285,2 \text{ m}^3/\text{min}$) que passou pelo equipamento durante o período de sete dias de coleta das amostras. Na Tabela 10 mostra-se a concentração mássica ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de MPA das escolas A e D, fração grossa e fina, para um período de sete dias de coleta durante as estações seca e chuvosa, bem como, os dados meteorológicos correspondentes a cada período de amostragem obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017).

Tabela 10. Concentrações mássicas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de MPA fração grossa e fina coletado na escola A de Santarém e na escola D de Mojuí dos Campos durante as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016 e os respectivos dados meteorológicos do período correspondente de cada coleta, Pará, Amazônia.

Dados sobre MPA				Dados meteorológicos no período de coleta			
Local de coleta	Período de coleta	Fração grossa $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fração fina $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura máxima média (°C)	Temperatura mínima média (°C)	Umidade relativa média (%)
Estação seca							
Escola A	21/09/15 a 28/09/15	55,28	8,10	0	34,2	23,3	80,3
	28/09/15 a 05/10/15	76,30	10,84	0	34,3	23,4	80,0
Escola D	12/10/15 a 19/10/15	67,27	20,85	0	33,3	23,2	77,7
	19/10/15 a 26/10/15	59,86	18,92	0	35,1	23,3	77,3
Estação chuvosa							
Escola A	07/03/16 a 14/03/16	31,90	2,05	105,2	30,8	22,4	89,6
Escola D	16/03/16 a 23/03/16	26,08	0,11	157,6	30,7	22,2	88,5

Os resultados mostraram que a concentração mássica de MPA fração grossa e fina durante a estação seca foi substancialmente maior do que as concentrações obtidas durante a estação chuvosa. Tal fato foi esperado, 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.

As concentrações mássicas de MPA nas frações grossa e fina encontradas para o presente estudo foram inferiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Decreto estadual de SP em ambas as escolas e períodos de coleta. O referido Decreto 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 (WHO, 2005). Os valores da OMS ainda são mais restritivos que o Decreto, dessa forma, verifica-se que as concentrações para o presente estudo em relação à fração grossa do MPA durante na estação seca, excedem o limite da OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para ambas as escolas. A ressuspensão de poeiras do solo devido ruas não asfaltadas nas proximidades das escolas A e D poderá ser um fator contribuinte nesse achado. Embora em mais altas concentrações nas escolas amostradas, estudos apontam que o excesso de partículas grossas na atmosfera, tende 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 (KREWSKI et al., 2003). As implicações mais severas em saúde de escolares ocorreriam se houvesse um excesso de partículas mais finas nos pontos amostrados, fato que não foi observado no presente estudo.

Os valores elevados de concentração mássica para a fração grossa durante as coletas realizadas na estação seca no ano de 2015, podem ter sido afetadas pelos efeitos do *El Niño*, que começou em 2015 e diminuiu o padrão de chuvas em grande parte do Brasil e do mundo. Na Região Amazônica, as precipitações durante a estação chuvosa iniciadas no final de 2015 e primeiro semestre de 2016, foram cerca de 50% menores quando comparadas a médias anteriores (BRASIL, 2016), devido ao efeito do fenômeno *El Niño*, o que deixou a região ainda mais seca durante o período de coleta das amostras e pode ter favorecido os altos valores da concentração mássica de MPA durante a coleta no ano de 2015. Esses cenários com condições ambientais mais extremas são importantes do ponto de vista da saúde, uma vez que as implicações e efeitos em saúde apresentam desfechos mais graves nesses episódios.

Em relação a fração fina, a maior concentração mássica obtida ($20,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ocorreu na escola D de Mojuí dos Campos durante a coleta realizada na estação seca. A concentração mais alta de partículas finas ocorreu na escola D e poderá ser resultante da influência de queimadas

provenientes das atividades agrícolas que ocorrem durante a estação seca na área de Mojuí dos Campos. Os valores encontrados para a fração fina embora em mais altas concentrações na escola D, encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pelo Decreto SP e OMS (2005). Andrade Filho et al. (2013) encontraram concentração mássica média (fração fina do MPA) semelhante aquelas obtidas pelo presente estudo na escola D. Os autores reportaram valores entre 18 a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MPA (fração fina) na região de Manaus durante a estação seca entre os anos de 2002 a 2009 (ANDRADE filho et al., 2013). Ainda segundo os autores, nessa concentração o MPA fino não apresentou correlação positiva com dados de internações hospitalares em Manaus (ANDRADE filho et al., 2013).

Durante a estação chuvosa, as concentrações mássicas de MPA apresentaram-se abaixo do recomendado pelo Decreto e pela OMS (2005). Ressalta-se que, o Decreto de SP (BRASIL, 2013) e o da OMS (WHO, 2005), 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.

As concentrações mássicas obtidas para o presente estudo foram superiores aos encontrados em áreas mais preservadas da Amazônia. No trabalho de revisão bibliográfica de Gonçalves e Figueiredo (2015), na região Amazônica, os autores indicam que nas 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. Estas condições podem ser consideradas naturais assumindo-se que essas regiões não são afetadas por emissão antropica.

Em regiões mais ao centro do bioma Amazônico, Gonçalves et al. (2016) coletaram partículas atmosféricas sem fracioná-las em grossas e finas, em uma região próxima ao município de Alenquer (Amazônia), localizada a uma distância aproximada de 55 km de Santarém. Os autores obtiveram uma concentração média de partículas totais em suspensão 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 $14 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As análises das partículas na região estudada pelos autores mostrou a predominância dos compostos inorgânicos Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^- nas duas estações e de carbonáceo, predominantemente durante a estação seca, o que indica queima da biomassa florestal. Dessa forma, ao considerar que a massa de ar que perpassa por Alenquer seja a mesma que chega na região de Santarém (a partir de análises de Retrotrajetórias de massas de ar por

HYSPLIT model backward), evidencia-se, assim como os achados para o presente estudo, que essas áreas avaliadas, localizadas ao centro da Amazônia (Alenquer e Santarém), apresentaram concentrações de partículas atmosféricas superiores à aquelas localizadas mais ao norte do bioma Amazônico.

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. (2000), encontrou 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. Maenhaut et al. (2002), no mesmo local, obtiveram concentração mássica média da fração fina entre 20-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor médio de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante a estação seca e de 15-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor médio de 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante a estação chuvosa (MAENHAUT et al., 2002).

Nessas regiões com forte influencia antropica da Amazônia, alguns estudos vem 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 morbidade por doenças respiratórias (ROSA et al. 2008; MASCARENHAS et al., 2008). Por exemplo, Ignotti et al. (2010), reportou 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 (2013) 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.

Ainda não se conhece ao certo quais são os mecanismos biológicos que levam ao aumento das taxas de morbidade e mortalidade decorrente da exposição inalatória a concentrações excessivas de MPA. A OMS (2005) 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 (WHO, 2005).

Por outro lado, autores comentam que a presença de MPA na atmosfera não deverá ser entendida como a única responsável por induzir alterações biológicas no sistema respiratório

de humanos (DOMINICI et al. 2016). A composição química do MPA também poderá ser um fator importante na determinação de perfis de morbidade e mortalidade na população (WHO, 2005). 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 (DOMINICI et al., 2016).

Diante disso, as frações do MPA obtidas das escolas A e D, foram avaliadas quando a sua composição química inorgânica. As concentrações iônicas mais abundantes observadas para a fração solúvel do MPA nas escolas durante a estação seca de 2015 são apresentadas na Tabela 11. Os boletins analíticos das concentrações iônicas encontram-se descritas no ANEXO IV.

Tabela 11. Concentrações iônicas (mg/m^3) mais abundantes na fase solúvel do MPA coletado na escola A de Santarém e na escola D de Mojuí dos Campos durante a estação seca de 2015, Pará, Amazônia.

Íons solúveis	Escola A		Escola D	
	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
PO_4^{3-}	LD	LD	LD	0,03

LD= abaixo do limite de detecção

Nota-se que os compostos solúveis no MPA das escolas apresentam baixas concentrações (menor que $0,54 \text{ mg}/\text{m}^3$) nas amostras avaliadas. Os compostos Li^+ , NO_2^- , K^+ e Br^- no MPA grosso e fino das escolas mostraram-se abaixo do limite de detecção do método, por esse motivo, não foram apresentados na Tabela 11. As concentrações iônicas solúveis mostraram-se superiores na fração grossa do MPA das escolas, com exceção do SO_4^{2-} e do NH_4^+ . O SO_4^{2-} e o NH_4^+ são compostos comuns na composição do MPA, predominantemente na fração fina e normalmente não são compostos tóxicos ao serem inalados (WHO, 2014). Segundo Oliveira, Ignotti e Hacon (2011), a partir de uma pesquisa de revisão sobre a composição de MPA no

Brasil, constataram que o SO_4^{2-} 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^- , NO_3^- , Ca^{2+} e Na^+ . Os elementos Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ inalados em baixas concentrações pelos escolares (menor que $0,42 \text{ mg/m}^3$), sugerem poucas implicações relacionadas com a saúde, uma vez que são compostos que participam de várias funções fisiológicas e celulares no organismo. Quanto ao NO_3^- , segundo ATSDR (2017), diferentemente da rota de ingestão, não existem evidências significantes entre a sua exposição por via inalatória e efeitos adversos observáveis. Da mesma forma para o Mg^{2+} , encontrado em baixas concentrações nas amostras das escolas (menor que $0,04 \text{ mg/m}^3$), que segundo os autores Kuschner et al. (1997), não foram encontradas associações significantes nas respostas inflamatórias pulmonares, mesmo a partir da inalação em concentrações elevadas (4138 mg/m^3) de Mg^{2+} .

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 12. Os boletins analíticos das concentrações obtidas de todos os elementos analisados encontram-se descritas no ANEXO V.

Tabela 12. Concentrações dos elementos traço (ng/m^3) mais representativos no MPA fração grossa e fina coletado nas escolas A de Santarém e D de Mojuí dos Campos durante as estações seca e chuvosa de 2015 a 2016, Pará, Amazônia.

Elemento traço	Escola A		Escola D	
	Fração grossa	Fração fina	Fração grossa	Fração fina
Estação seca				
Al	54,5	3,8	34,1	4,3
As	0,04	0,03	0,02	0,07
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
Mn	1,2	0,1	1,3	0,1
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
Zn	2,2	2,6	1,5	1,1
Estação chuvosa				
Al	45,1	7,2	27,9	7,9
As	0,04	0,05	0,01	0,02
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
Mn	0,8	0,2	0,5	0,1
Na	LD	LD	LD	LD
Ni	0,04	0,07	0,03	0,02
Pb	0,3	0,7	0,3	0,4
Zn	1,7	LD	LD	LD

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. (2008), esses elementos são considerados terrígenos e ocorrem comumente na fração grossa do MPA devido a ressuspensão 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 na escola D de 90,7 ng/m^3 . Concentrações elevadas de K na fração fina, durante a estação seca, indicam queima de biomassa florestal (ANDREAE, 1983). 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. Alguns estudos apontam para a ocorrência de K no MPA como traçador da queima de biomassa florestal, especialmente nas regiões localizadas mais ao sul da bacia Amazônica, no arco do desmatamento (YAMASOE et al. 2000; MAENHAUNT et al., 2002; GUYON et al., 2004).

Os elementos traço como As, Cd, Ni, Cu, Pb e Zn apresentam baixas concentrações nas frações do MPA coletado nas escolas (menor que $1,1 \text{ ng/m}^3$). Esses elementos são considerados traçadores de atividades antropogênicas como queima de combustíveis fósseis e emissões industriais (ALMEIDA et al, 2011). 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 podem 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 (WHO, 2005). 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 inalação de partículas químicas a partir do MPA pode desencadear inflamação em as vias aéreas inferiores, levando à exacerbação da asma e bronquite crônica, obstrução das vias aéreas e diminuição da troca gasosa (WHO, 2005; POPE et al., 2004).

Alguns trabalhos, vem sugerindo um grau de toxicidade maior associado ao MPA decorrente de emissões antropogênicas, por conterem uma concentração maior de substâncias químicas, incluindo elementos traço mais nocivos e pelos seus efeitos carcinogênicos à saúde como o As (FREITAS et al., 2009). Nesse sentido, esta tese sugere que novas pesquisas toxicológicas e epidemiológicas sejam desenvolvidas, incluindo regiões como a de Santarém. O entendimento mais detalhado da toxicidade relativa de partículas atmosféricas, especialmente aquelas advindas da biomassa florestal, facilitará a implementação de medidas de controle de poluição atmosférica mais eficazes e o desenvolvimento de políticas públicas na área da saúde.

5.4 Morbimortalidade por doenças diarreicas e respiratórias em Santarém e Mojuí dos Campos.

Os resultados apresentados nesse subcapítulo referem-se a descrição de morbidades e casos de mortalidade relacionados à qualidade da água e do ar em menores de 10 anos nos anos de 2014 a 2016 nos municípios estudados. Os dados que são apresentados, foram obtidos por sistemas de informação em saúde (SIVEP, SIM e HOSPUB) e são descritos com a finalidade de complementar os resultados analíticos anteriormente expostos sobre qualidade da água e do ar.

5.4.1 Prevalência, taxa de internação e mortalidade por doenças diarreicas

Na Tabela 13 é apresentado o número absoluto de casos (N) notificados e a prevalência de DDAs por 1.000 habitantes entre menores de 10 anos residentes em Santarém e Mojuí dos Campos, segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência, 2014 a 2016. A prevalência foi calculada com base nas estimativas populacionais do IBGE de acordo com o último censo demográfico realizado em 2010 e dados coletados do SIVEP.

De acordo com os dados levantados, foram notificados no total, em Santarém, 18.377 casos os quais 54% correspondem a menores de 10 anos de idade (n=9.959). Em Mojuí dos Campos foram 502 notificações das quais 57% correspondem a menores de 10 anos de idade (n=289). Em todos os anos avaliados, a faixa etária de 1 a 4 anos foi a que apresentou o maior número de notificações, mais da metade em Santarém 68% (n=6798) no período avaliado. Entretanto, a maior prevalência de DDAs referiu-se ao grupo de menores de um ano de idade, para todos os anos e períodos avaliados em Santarém. Em Mojuí dos Campos a maior prevalência de DDAs esteve relacionada aos menores de um ano predominantemente durante a estação seca de 2015 e 2016, nos outros períodos avaliados, a maior prevalência foi atribuída a faixa 1 a 4 anos de idade. Os achados foram congruentes com o estudo de Meneguessi et al. (2015), em que encontraram maior prevalência de DDAs em menores de um ano, seguido da faixa etária de 1 a 4 anos no Distrito Federal durante entre os anos de 2003 a 2012.

Tabela 13. Número absoluto (N) de casos e prevalência de DDAs por 1.000 crianças menores de 10 anos notificados nos municípios de Santarém e Mojuí dos Campos, segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

	Notificações DDAs em Santarém								Notificações DDAs em Mojuí dos Campos							
	< 1 ano		1-4 anos		5-9 anos		Total (<10 anos)		< 1 ano		1-4 anos		5-9 anos		Total (<10 anos)	
	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência	N	Prevalência
Estação seca																
2014	215	38	804	34	216	07	1235	21	07	23	32	26	24	15	63	20
2015	149	26	536	23	208	07	893	15	02	07	08	06	04	02	14	04
2016	179	31	458	19	177	06	814	13	01	03	03	02	03	02	07	02
Estação chuvosa																
2014	610	11	2565	11	810	27	3175	54	14	47	69	56	26	16	109	35
2015	373	66	1267	54	342	11	1982	33	05	18	28	23	14	09	47	15
2016	364	64	1168	50	328	10	1860	31	03	10	34	27	12	07	49	15

(SIVEP – DDA, 2017)

Quanto à sazonalidade, os resultados obtidos do SIVEP, mostraram que houve um aumento significativo do número de casos e de prevalência por todas as faixas etárias durante a estação chuvosa quando comparada com o período seco. Em Santarém 70,4% (n=7.017) dos casos que ocorrem em crianças menores de 10 anos, foram durante o período chuvoso e em Mojuí dos Campos o percentual foi ainda maior, de 71% (n=205). Esses dados, sugerem que as DDAs nos municípios avaliados podem ter relação com a qualidade da água consumida pelas crianças. Geldreich (1998) afirma que o escoamento superficial da chuva que percola nas camadas do subsolo, durante o período chuvoso, é um dos fatores que mais contribui negativamente para a qualidade microbiológica da água e conseqüentemente pode ocasionar um número maior de adoecimentos na população que a consome. Estudos apontam que em locais com ausência de saneamento a prevalência da DDA é elevada e exibe uma correlação positiva com a qualidade da água de consumo (BRINEZ et al., 2012; QUEIROZ; HELLER; SILVA, 2009). Queiroz, Heller e Silva (2009) encontraram associações positivas entre a ocorrência de DDAs e as alterações nos parâmetros de turbidez, coliformes e *E.coli* em amostras de água para abastecimento público na cidade de Vitória, Espírito Santo. Em outro estudo, realizado por Nascimento et al. (2013), ao avaliarem a ocorrência de DDAs em municípios do semiárido da região Nordeste do País, foi constatada uma maior prevalência durante o período chuvoso, especialmente após picos maiores de pluviosidade. Os autores sugeriram que as causas estavam associadas com a ingestão de água contaminadas por material fecal originários da proximidade de fossas sépticas.

Ao comparar os resultados obtidos nos dois municípios, verifica-se que Santarém apresentou valores de prevalência de DDAs maior que Mojuí dos Campos, em todos os anos e faixa etárias avaliadas. Os achados indicam que as crianças menores de 10 anos de Mojuí dos Campos poderão estar mais protegidas a ocorrência de DDAs do que as de Santarém. Dentre os fatores que podem favorecer estes resultados, a qualidade da água de abastecimento à população pode ser um deles. Mojuí dos Campos apresenta um sistema de distribuição principal de água de captação profunda que abastece a maior parte da população, o que pode ser um fator protetor contra a veiculação de doenças hídricas. Em Santarém, 39% da população é abastecida por poços rasos (COSANPA, 2013). Os poços rasos são mais suscetíveis a infiltração de contaminantes (WHO, 2006), o que pode deixar a população mais exposta a morbidade por DDAs.

Segundo a OMS (2010), para se diminuir a prevalência de DDAs na população, medidas de prevenção primária devem ser adotadas, sendo a principal delas a oferta de água com qualidade, saneamento e higiene, baseando-se na redução da transmissão fecal-oral de agentes

patogênicos e incluindo a provisão de um abastecimento de água melhorado, com tratamento de água doméstica e armazenamento seguro, instalações de saneamento melhoradas e educação em saúde. Essas ações influenciam positivamente não somente no número de casos de doenças diarreicas, mas também na prevenção de outras doenças veiculadas pela água como a hepatite A (BRASIL, 2016a).

Em Santarém e Mojuí dos Campos, entre os anos de 2014 a 2016, houve uma melhora dos indicadores de prevalência em relação as DDAs. As medidas na região de Santarém como o aumento da cobertura de vacinação contra o rotavírus e hepatite A (que são veiculadas pela água), o estímulo da prática de aleitamento materno, especialmente durante o primeiro ano de vida, a ampliação de unidades de Estratégia Saúde da Família segundo a Sala de Apoio à Gestão Estratégica (SAGE) do Ministério da Saúde em 2017, podem ter favorecido nesse quadro (SAGE, 2017).

A ocorrência de DDAs em crianças menores de 10 anos, no geral, é acometimento autolimitado, com duração média de três dias. A gravidade do caso tem relação com tipo de agente patogênico e a vulnerabilidade do hospedeiro (estado nutricional e fatores específicos), e dessa forma a fase aguda poderá prolongar-se a formas mais persistentes e que demandam cuidados de internação. Na Tabela 14 é mostrado o número absoluto (N) de internações hospitalares e taxa internação por doença diarreica por 1.000 crianças entre menores de 10 anos no Hospital Municipal de Santarém segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência. Ressalta-se que as internações no hospital de referência atende a população da região geográfica de Santarém, que inclui os municípios de Monte Alegre, Alenquer, Prainha, Placas, Belterra, Mojuí dos Campos, Curuá e Santarém.

Tabela 14. Número absoluto (N) de internações hospitalares e taxa de internação por doença diarreica por 1.000 crianças menores de 10 anos no Hospital Municipal de Santarém segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

	Internações por doença diarreica							
	< 1 ano		1-4 anos		5-9 anos		Total (<10 anos)	
	N	Taxa internação	N	Taxa internação	N	Taxa internação	N	Taxa internação
Estação seca								
2014	05	0,5	05	0,1	03	0,05	13	0,1
2015	04	0,4	19	0,4	06	0,1	29	0,2
2016	06	0,6	25	0,6	07	0,1	38	0,3
Estação chuvosa								
2014	12	1,2	25	0,6	11	0,2	48	0,5
2015	05	0,5	12	0,3	02	0,03	19	0,2
2016	16	1,6	28	0,7	08	0,1	52	0,5

(HOSPUB, 2017)

Entre 2014 a 2016, no total para todas as faixas etárias, ocorreram 344 internações por infecções intestinais, desses 14% (48 casos) entre os menores de 1 ano; 33,1% (114 casos) entre as crianças de 1 a 4 anos e 10,7% (37 casos) entre as de 5 a 9 anos. Os resultados apontam que, assim como as DDAs, o maior número de casos notificados por internações por doenças diarreicas, ocorreu em crianças de um a quatro anos, evidenciando uma mesma tendência dos resultados. Por outro lado, também congruente com os dados apontados sobre a prevalência de DDAs, os resultados mostraram que ao se calcular a taxa de internações por doenças diarreicas essa foi maior em crianças menores de um ano, especialmente durante o período chuvoso. Quanto à sazonalidade, os resultados novamente evidenciaram, que a maioria dos casos de internações por doença diarreica e as maiores taxas de internações, ocorreram durante o período chuvoso durante os anos avaliados, com exceção do ano de 2015 em maiores de um ano de idade.

Quanto aos casos de óbitos por doenças diarreicas durante o período investigado, os dados levantados a partir do SIM, mostraram que ocorreu apenas uma morte em 2015 no município de Santarém entre os menores de 10 anos. Dessa forma, a taxa de mortalidade específica por doenças diarreicas no município de Santarém no ano de 2015 foi de 16,8 óbitos por 100 mil crianças menores de 10 anos e a mortalidade proporcional por esse tipo de causa, foi calculada como sendo de 0,6% em relação ao total de óbitos para essa faixa etária. Em Mojuí dos Campos, os dados levantados do SIM não mostraram óbitos em menores de 10 anos entre 2014 a 2016

por doenças diarreicas.

A escassez de publicações e dados epidemiológicos anteriores ao período estudado na região de Santarém, dificulta a análise da mortalidade de forma temporal e espacial. Entretanto, sabe-se que as taxas de mortalidade por doenças diarreicas vêm mostrando uma queda em todo o Brasil a partir de 1980 (OLIVEIRA; LATORRE, 2010). Os últimos valores disponíveis sobre taxa de mortalidade por doenças diarreicas são nacionais e regionais publicados pelo SIM – DATASUS em 2011 (BRASIL, 2011b). Em 2011 o Brasil apresentou taxa de mortalidade específica por doenças diarreicas de 2,7 casos por 100 mil crianças menores de 10 anos, valor inferior aos valores encontrados em 2015 para Santarém. Na região Norte a taxa de mortalidade foi maior do que a média nacional com 5,2 casos por 100 mil crianças menores de 10 anos, seguido das regiões Nordeste com 4,2 casos, Centro Oeste com 2,7 casos, Sudeste com 1,4 casos e a Sul com 1,0 caso (BRASIL, 2011b). A alta taxa de mortalidade em Santarém no ano de 2015, em comparação com os resultados anteriormente apresentados, reforça a importância de investigações epidemiológicas sobre o seu comportamento (tendência) em anos futuros. Ressalta-se que existem limitações nessa comparação, por serem anos e contextos de abrangência diferentes.

5.4.2 Taxa de internação e mortalidade por doenças respiratórias

Os resultados relativos a morbidade e a mortalidade por doenças respiratórias foram obtidos através das notificações em um hospital de referência de Santarém (responsável por atender a população de Mojuí dos Campos) e pelo SIM, respectivamente. Ressalta-se que nos municípios de estudo, as doenças respiratórias não são de notificação obrigatória pelos serviços de atenção básica. Dessa forma, não foi possível calcular a prevalência dessas doenças devido à falta de dados registrados em sistemas de saúde sobre essa enfermidade. Diferentemente das doenças diarreicas, os atendimentos por doenças respiratórias ocorridos nos serviços de atenção básica, não são registrados no SINAM do Ministério da Saúde. Por isso, a morbidade foi calculada através da taxa de internação hospitalar.

Na Tabela 15 é apresentado o número absoluto (N) de internações no Hospital Municipal de Santarém e a taxa de internação por doenças respiratórias por 1.000 crianças em menores de 10 anos segundo a faixa etária, estação do ano e ano de ocorrência.

Tabela 15. Número absoluto (N) de internações e taxa internação por doenças respiratórias por 1.000 crianças menores de 10 anos no Hospital Municipal de Santarém segundo a faixa etária, estação e ano de ocorrência.

	Internações por doenças respiratórias							
	< 1 ano		1-4 anos		5-9 anos		Total (<10 anos)	
	N	Taxa internação	N	Taxa internação	N	Taxa internação	N	Taxa internação
Estação seca								
2014	85	8,5	84	2,0	18	0,3	187	1,7
2015	43	4,2	46	1,1	10	0,2	99	0,9
2016	58	5,7	76	1,8	16	0,3	150	1,3
Estação chuvosa								
2014	55	5,5	100	2,3	20	0,4	175	1,6
2015	73	7,2	93	2,2	13	0,3	179	1,6
2016	56	5,5	82	1,9	28	0,5	166	1,5

(HOSPUB, 2017)

Os resultados obtidos mostram que do total absoluto de internações (1.120 casos) por doenças respiratórias para todas as faixas etárias nos anos avaliados, as crianças menores de 1 ano foram responsáveis por 33% (370 casos), as de um a quatro anos contribuíram com o maior número de casos, representando 43% (481 casos) do total, e as crianças de cinco a nove anos com o menor número de internações contribuindo com 9,3% (105 casos) das internações. Por outro lado, ao se calcular a taxa de internação, respeitando a população por faixa etária e ano, verificou-se que a maior taxa ocorreu em crianças menores de um ano em todos anos avaliados e em ambas as estações do ano.

As doenças respiratórias mostraram-se com maior número de casos e taxa de internação por faixa etária e anos avaliados quando comparada com as internações por doenças intestinais. Esse fato poderá ser justificado devido as doenças diarreicas apresentaram predominantemente quadros mais autolimitados que são tratáveis e resolvidos por meio da Atenção Básica. As doenças respiratórias, como pneumonia, asma, bronquites, a falta do reconhecimento dos sinais e sintomas precocemente dificulta o quadro clínico e normalmente requerem cuidados de maior complexidade e internações hospitalares.

Quanto à sazonalidade, verificou-se que durante a estação chuvosa houve um predomínio do número de internações e taxa maior de internação por faixa etária para as doenças respiratórias, com exceção no ano de 2014 e 2016 em crianças menores de um ano. Os dados sugerem que a ocorrência de um número maior de internações por doenças respiratórias durante

o período chuvoso possa estar relacionada a outros eventos agravantes, que não seja o MPA, como, por exemplo, a umidade e a temperatura do ar, que podem favorecer a proliferação de agentes microbianos (bactérias, vírus e fungos) especialmente em localidades tropicais como a região de Santarém.

Os achados deste trabalho estão coerentes com outros resultados encontrados na literatura, como no trabalho de Gomes et al. (2016), que investigaram as associações entre internações por doenças respiratórias e variáveis meteorológicas (umidade, temperatura, precipitação e pressão atmosférica) no município de Santarém no ano de 2010. Os autores constataram que o maior número de internações por crianças ocorreu no mês de junho coincidindo com período de transição entre as estações chuvosa e seca, ou seja, fora do período seco considerado o mais crítico em termos de concentrações de MPA e presença de poluentes químicos na atmosfera. Nesse estudo foi observada correlação estatística significativa entre a umidade e o número de internações hospitalares por doenças respiratórias, e que a precipitação foi a variável de maior contribuição para as internações hospitalares em Santarém (GOMES et al. 2016). Em outro trabalho, Andrade Filho et al. (2013), avaliaram a relação entre os dados de internações hospitalares por crianças e os níveis de material particulado fino na atmosfera de Manaus entre 2002 a 2009. Os autores encontraram que as maiores taxas de internações ocorreram durante a estação chuvosa, observando-se associação positiva entre as internações e o aumento da umidade do ar na região. Rosa et al. (2008) analisaram a sazonalidade climática dos atendimentos ambulatoriais por doença respiratória em menores de 15 anos no município de Tangará da Serra (MT), sul da Região Amazônica. Os autores observaram picos de atendimento ambulatorial nos meses de março e agosto, mais acentuados em março, considerado como período chuvoso na região. Concluíram que os atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias em Tangará da Serra foram, em geral, de vias aéreas superiores, comumente de menor gravidade e estiveram relacionados ao período chuvoso no município.

Na Tabela 16 apresenta-se a Taxa de mortalidade e a mortalidade proporcional específica por doenças respiratórias em menores de 10 anos no município de Santarém segundo a faixa etária e o ano de ocorrência. No município de Mojuí dos Campos, não ocorreu nenhum óbito em menores de 10 anos durante o período avaliado.

Tabela 16. Taxa de mortalidade por 100 mil crianças e a mortalidade proporcional por doenças respiratórias em menores de 10 anos em Santarém segundo a faixa etária e ano de ocorrência.

Mortalidade por doenças respiratórias em Santarém								
	< 1 ano		1-4 anos		5-9 anos		Total (<10 anos)	
	Taxa	Proporcional (%)	Taxa	Proporcional (%)	Taxa	Proporcional (%)	Taxa	Proporcional (%)
2014	71,5	3,1	13,0	18,7	13,1	23,5	18,6	6,8
2015	88,6	3,5	--	--	3,3	8,3	10,0	3,5
2016	105,6	3,6	43,0	32,2	9,7	17,6	31,7	8,9

(SIM, 2017)

No período investigado, verificou-se que ocorreram 36 óbitos relacionados a doenças respiratórias em menores de 10 anos no município de Santarém. Ao observar os resultados, verifica-se que a maior taxa de mortalidade ocorreu em crianças menores de um ano e, nessa faixa etária, observou-se aumento crescente nos valores entre os anos de 2014 e 2016. Por outro lado, a mortalidade proporcional por doenças respiratórias em Santarém apresentou valores mais elevados nos grupos etários de maiores de um ano.

Ao comparar os resultados com dados últimos dados sobre mortalidade proporcional por doenças respiratórias nacionais publicados no DATASUS (2017), em 2011 a proporção de óbitos (%) por doenças respiratórias em crianças menores de dez anos foi de 7,3 no Brasil. Na região Norte a mortalidade foi de 9,5 (a mais alta de todas as regiões brasileiras), seguido das regiões Nordeste (7,2%), Sudeste (7,1%), Centro Oeste (7,0%) e Sul (5,4%). Os resultados encontrados para o presente estudo foram menores que a proporção de óbitos nacional, com exceção do ano de 2016. Em relação a proporção da região Norte, os resultados desse estudo apontam que Santarém permanece com uma proporção menor de óbitos por doenças respiratórias. Dessa forma, medidas de controle da poluição ambiental, educação ambiental e maior cobertura vacinal (ex. meningocócica e pneumocócica) são fatores importantes na prevenção de morbimortalidade associadas ao sistema respiratório.

6. CONCLUSÃO

A partir da avaliação da qualidade da água em quatro escolas de ensino fundamental, públicas, de Santarém e Mojuí dos Campos conclui-se que os escolares estão expostos ao consumo de água ácida e com contaminação bacteriológica (coliformes totais e *E.coli*). O consumo de água ácida, poderá trazer implicações diretas para a saúde de escolares como irritações dérmicas e de mucosas por contato com a água e alterações no pH gástrico e intestinal devido a sua ingestão. Outras implicações indiretas também podem ocorrer, como o aumento das concentrações de compostos químicos na água durante o seu transporte até o ponto de consumo devido à maior solubilização de elementos químicos em virtude do baixo pH da água. A detecção de microrganismos de origem bacteriológica na água de consumo poderá favorecer a ocorrência de quadros de doenças diarreicas em escolares. Além disso, a presença de *E.coli* nas amostras de água de todas as escolas, indica contaminação fecal, sugerindo-se que novos microrganismos devam ser investigados como vírus da hepatite A e o *Cryptosporidium*. Recomenda-se a implementação de bombas neutralizadoras de acidez da água nas escolas como forma de manter o pH da água entre 6,0 a 9,5 (recomendado pela Portaria 2914), bombas de cloro visando a eliminação de microrganismos e a manutenção e vedação adequada dos reservatórios suspensos (caixa d'água).

Com base nos resultados obtidos por meio dos questionários e em conjunto com os dados analíticos de composição química da água nas escolas, conclui-se que os escolares de Santarém estão mais suscetíveis aos efeitos da exposição hídrica do que os escolares de Mojuí dos Campos, especialmente aqueles que consomem água de poços menos profundos como os da escola A e C. As amostras de água coletadas dos poços subterrâneos profundos nas escolas apresentaram qualidade superior, conservando propriedades naturais do processo de interação com rochas que compõe o sistema aquífero Alter do Chão. As amostras água das escolas com poços menos profundos estiveram mais sujeitas a contaminação, especialmente pelo alumínio e nitrato, o que expõe mais os escolares aos efeitos adversos em saúde imediatos e tardios dessa exposição. As concentrações de alumínio ultrapassaram os valores permitidos pela Portaria 2914 em todas as amostras coletadas na escola A de Santarém e em quatro das seis avaliadas na escola C, ambas com poços menos profundos, sugerindo que avaliações neurológicas a longo prazo não devam ser descartadas no cuidado em saúde. O nitrato embora em concentrações aceitáveis na água das escolas, indicou que deficiências sanitárias podem estar acontecendo, uma vez que, mostrou valores superiores nas amostras das escolas com poços menos profundos e próximos ao limite máximo recomendado pela Portaria 2914. O consumo de elevadas

concentrações de nitrato em água relaciona-se a possíveis implicações hematológicas, como a metahemoglobinemia em crianças.

A avaliação de risco à saúde de crianças pela ingestão da água nas escolas, confirmou a existência de risco quantitativo para crianças que ingerem água das escolas com poços rasos (escolas A e C) e, novamente, o alumínio e o nitrato foram os compostos químicos que mais contribuíram para esse risco. Entende-se que os resultados desta tese são preliminares, sugerindo-se que novos estudos de avaliação de risco e de abordagem epidemiológica sejam realizados na região de Santarém, de forma que possibilitem ampliação desse debate e a condução de futuras intervenções no âmbito da promoção da saúde. Recomenda-se ainda, a implementação de redes coletoras e de tratamento de esgoto na região de Santarém e a ampliação do sistema de abastecimento da COSANPA, uma vez que a sua fonte de captação de água subterrânea é por poços profundos, em geral superiores a 200 metros.

A partir da avaliação do MPA nas escolas, verificou-se que as partículas com maiores implicações para saúde (finas) apresentaram-se em baixas concentrações na atmosfera das escolas, entretanto, a predominância de potássio e de concentrações mássicas superiores na escola D de Mojuí dos Campos, indica possivelmente a influência das queimadas proveniente da biomassa florestal. Os resultados analíticos do MPA e das respostas obtidas por meio dos questionários sugerem que os escolares de Mojuí dos Campos estão mais suscetíveis aos efeitos da poluição atmosférica do que os escolares de Santarém.

Os dados epidemiológicos de saúde mostraram que as DDAs foram mais prevalentes em crianças menores de um ano e ocorreram predominantemente durante o período chuvoso, evidenciando relações com a qualidade da água de consumo. As crianças menores de 10 anos de Santarém apresentaram prevalência maior de DDAs quando comparado com as de Mojuí dos Campos. Dentre os fatores que possam favorecer estes resultados, a qualidade da água de abastecimento à população poderá ser um deles. Os dados sobre internações hospitalares por doença diarreica mostraram a mesma tendência da prevalência de DDAs. Houve maior taxa de internações por doenças diarreicas em crianças menores de um ano e durante o período chuvoso. Quanto as taxas de internações por doenças respiratórias, estas foram mais expressivas em crianças menores de um ano e foram maiores do que as taxas de internações por doenças diarreicas. Os dados hospitalares indicaram maior taxa de internações por doenças respiratórias durante o período chuvoso, sugerindo que outros fatores agravantes locais, como por exemplo a umidade do ar, podem estar envolvidos nos quadros de morbidade respiratória da população, requerendo novos estudos.

O presente trabalho trouxe resultados inéditos sobre as possíveis implicações para a saúde de escolares decorrentes do consumo de água e MPA inalável em escolas localizadas em Santarém e em Mojuí dos Campos. Além disso, os resultados obtidos pela pesquisa atual, são positivos no sentido de subsidiar discussões futuras nos municípios, especialmente nas formulações de políticas públicas norteadoras de ações de promoção a saúde nos municípios. Para completar essa investigação, pesquisas futuras se fazem necessárias. A partir dos resultados obtidos novos questionamentos surgiram, como: (i) Quais os efeitos *in vivo* do consumo diário de água com pH abaixo de 6,0?; (ii) O intervalo estabelecido de 6,0 a 9,5 para os valores pH da água de consumo pela Portaria 2914 é adequado para populações amazônicas?; (iii) Existem outros microrganismos de origem fecal presentes na água principalmente aquelas provenientes de poços rasos consumida em maior percentual pela população da região de Santarém? (iv) Os locais que albergam outros grupos vulneráveis, como hospitais, asilos e creches apresentam água e ar com qualidade adequada?; (v) Quais seriam as implicações em saúde para pacientes que realizam hemodiálise em locais onde a água é proveniente de poços rasos e poderá ter contato pela via hematogênica? (vi) Qual a concentração de partículas ultrafinas e microrganismos causadores de pneumonias e outras infecções respiratórias na atmosfera da região de Santarém especialmente durante o período chuvoso?.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.P.O. de; PELEJA, J.R.P.; SOUSA, K.N.S. Qualidade da Água em Microbacias hidrográficas com agricultura Nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 983-992, 2014.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de composto de nitrogênio em águas de poços. **Revista Saúde Pública**, n.32, v.2, p.160-5, 1998.

ALMEIDA, S.M.; CANHA, N.; SILVA, A.; FREITAS, M.C.; PEGAS, P.; ALVES, C.; EVTYUGINA, M.; PIO, C.A. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. **Atmospheric Environment**, v.45, p.7594-7599, 2011.

ALVARENGA, A.; PHILIPPI Jr, A.; SOMMERMAN, A.; ALVAREZ, A.M.S; FERNANDES, V. Histórico, fundamentos filosóficos e teórico-metodológicos da interdisciplinaridade. In PHILIPPI, A.; SILVA Neto, A. (ed.) **Interdisciplinaridade em Ciência, Tecnologia & Inovação**. Barueri, SP: Editora Manole, 2011.

ALVES, G.M.C.; CARVALHO, I.J.I.; SOBRAL, F.O.S. Qualidade da água subterrânea obtida de poços em áreas urbanas na cidade de Ji-Paraná- Ro. **Higiene Alimentar**, v.30, n.256-267, 2016.

ALVES, I.C.C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M.L.S.; MONTEIRO, S.M.; BARBOSA, L.P.F.; GUIMARÃES, J.T. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p.115-124, 2012.

ALVES, R.I.S.; SAMPAIO, C.F.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J.L.; SEGURA-MUÑOZ, S.I. Metal concentration in surface water and sediments from Pardo River, Brazil: Human health risks. **Environmental Research**, v.133, p.149-155, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado**. Brasília: Engecorps/ Cobrape, 2010.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES E DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for Nickel**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, 2005.

_____. **Toxicological profile for Aluminium**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, 2008.

_____. **Air pollution**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, 2009.

_____. **Toxicological profile for Chromium**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service: Atlanta. 2012.

_____. **Toxicological profile for Manganese**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service: Atlanta. 2012a.

_____. **Toxicological profile for Nitrate and Nitrite**. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta, 2017.

ANDERSON, H.R.; PONCE L.A.; BLAND, J.M.; BOWER, J.S.; STRACHAN, D.P. Air pollution and daily mortality in London: 1987-92. **BMJ**, v.16, p.665-669, 1996.

ANDRADE, E.C.L. **Estudo de caso do abastecimento D'água do município de Santarém Pará**. Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA), 2015. 75p. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

ANDRADE Filho, V.S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C.N.; CIRINO, G. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 2, p. 239-247, 2013.

ANDREAE, M.O. Soot carbon and excess fine potassium: long-range transport of combustion-derived aerosols. **Science**, v.220, n. 4602, p. 1148-51, 1983.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Cartilha sobre Boas Práticas para serviços de alimentação Resolução-RDC nº 216/2004**. Brasil: Brasília/DF, 2004. Disponível <http://www.anvisa.gov.br/divulga/public/alimentos/cartilha_gicra_final.pdf. Acesso em 06/08/2017.

ARTAXO, P.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M. A.; PROCÓPIO, A. S.; PAULIQUEVIS, T. M.; ANDREAE, M. O.; GUYON, P.; GATTI, L. V.; CORDOVA, A. M. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, 2002.

ARTAXO, P.; CAMPOS, R.C.; FERNANDES, E.T.; MARTINS, J.V.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNANDEZ, M.T.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon Basin. **Atmospheric Environmental**, v.34, p.4085 – 4096, 2000.

AZEVEDO, R.P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v.36, n.3, p.313-320, 2006.

BACHE, B.W. Aluminium mobilisation in soils and waters. **Journal of the Geological Society**, v. 143, p.699-706, 1986.

BAKAR, C.; KARAMAN, H.I.O.; BABA, A.; SENGUNALP, F. Effect of high aluminium concentration in water resources on human health, case study: Biga, Peninsula, Northwest Part of Turkey. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.58, n.4, p.935-944, 2010.

BAKONYI, S.M.; OLIVEIRA, I.M.D.; MARTINS, L.C.; BRAGA, A.L.F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.38, n.5, 2004.

BARCELLOS, C.; QUITÉRIO, L.A.D. Vigilância ambiental em saúde e sua implantação no Sistema Único de Saúde. **Revista de Saúde Pública**, n.40, v.1, p. 170-177, 2006.

BARROS, M.M.A. **Poluição atmosférica e hospitalizações por doenças respiratórias em crianças menores de 12 anos no município de Porto Velho-RO, Amazônia ocidental**. Porto Velho: Fundação Universidade Federal de Rondônia, Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, 2011. 123p. Dissertação (Mestrado), UFRO, 2011.

BOWMAN, C.A.; BOBROWSKY, P.T.; SELINUS, O. Medical geology: new relevance in the earth sciences. **Episodes**, v.26, n. 4, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, seção 1, p. 15937-15939, 1990.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº9605 de 12 de Fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 17 de fevereiro de 1998.

_____. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Vigilância ambiental em saúde**. Brasília: FUNASA, 2002.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006.

_____. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 2ª ed. Brasília: FUNASA, 2006a.

_____. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Subsídios para Construção da Política Nacional de Saúde Ambiental. Brasília: **Editora do Ministério da Saúde**, 2007.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Política Nacional de Promoção da Saúde. 3.ed. Brasília: **Editora do Ministério da Saúde**, 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Áreas de monitoramento de focos de calor**. 2010a. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/prevfogo/areas-tematicas/monitoramento/dados-de-focos-de-calor>. Acesso em 27 de novembro de 2017.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Subsecretaria de Planejamento e Orçamento. **Plano Nacional de Saúde – PNS: 2012-2015 / Ministério da Saúde**. Brasília, 2011.

_____. Portaria Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 24 Dezembro, 2011a.

_____. Datasus - Indicadores de Mortalidade. **Taxa de mortalidade específica por doenças transmissíveis por 100 mil habitantes** [Internet]. 2011b. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?idb2012/c17.def>.

_____. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. **Aprova normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos**. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de Dezembro, 2012.

_____. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS (DATASUS). **Indicadores de Mortalidade - Taxa de mortalidade infantil**. Brasília, 2012a.

_____. Decreto – lei nº59.113, 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. **Água Tratada ajuda a prevenir doenças diarreicas**. Diário Oficial da União, Brasília, 2013a.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 2014.

_____. Ministério da Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Doença diarreica aguda –casos**. Brasília, 2014a.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. República Federativa do Brasil, 2014b.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Desmatamento da Amazônia Legal – série histórica do desmatamento**. Brasília, 2016.

_____. Ministério da Saúde. Departamento de Vigilância, Prevenção e Controle das DST, Aids e Hepatites Virais. **Boletim Epidemiológico – Hepatites Virais**. Brasília, 2016a.

BRINEZ, A.; GUARNIZO, J.C.; ARIAS, S.A. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. **Revista Faculdade Nacional de. Salud Pública**, Medellín, v. 30, n. 2, p. 175-182, 2012.

BUSS, P.M. Promoção da saúde e qualidade de vida. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 163-177, 2000.

BUSS, P. M. Uma introdução ao conceito de Promoção da Saúde. *In*: CZERESNIA, D.; FREITAS, C. M. **Promoção da saúde: conceitos, reflexões, tendências**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, p.15-38, 2003.

CAMPBELL, A.; PRASAD, K.N.; BONDY, S.C. Aluminum-induced oxidative events in cell lines: Glioma are more responsive than neuroblastoma. **Free Radical Biological Medicine**, v.26, n.9-10, p.1166-71, 1999.

- CARDOSO, L.; MORITA, M.C.; ALVES, J.C.; LICHT, O.A.B. **Anomalia hidroquímica e ocorrência de fluorose dentária em Itamaracá – Pr.** In: SBGq, Congresso Brasileiro de Geoquímica, VIII, Curitiba, **Anais eletrônicos**, CD-ROM.,2001.
- CASTILHOS, Z.; CESAR, R.; SIERPE, R.; FLORENCIO, J.; ARAUJO, P. Avaliação de risco à saúde humana associada ao consumo de águas subterrâneas contaminadas em Capitão Gervásio de Oliveria, Estado do Piauí. **Geochimica Brasiliensis**, v.28, n.1, p13-22, 2014.
- CARMO, C. N.; HACON, S.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; LEON, A.P.; ARTAXO, P. Associação entre Material Particulado de queimadas e Doenças respiratórias na Região Sul da Amazônia brasileira. **Revista Panamerica Salud Publica**, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010.
- CENTER FOR DISEASE AND CONTROL (CDC). **Children’s Environmental Health 2017**. Disponível em <https://ephtracking.cdc.gov/showChildEHMain.action>. Acesso em 12 de Setembro de 2017.
- _____. Outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 and *Campylobacter* among attendees of the Washington County Fair – New York 1999. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 48, n.36, p.803-804, 1999.
- CHIU, H.F.; TSAI, S.S.; CHEN, P.S.; WU, T.N.; Yang, C.Y. Does calcium in drinking water modify the association between nitrate in drinking water and risk of death from colon cancer? **Journal of Water and Health**, v.9, n.3, p. 498-506, 2011.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Secretaria do Meio Ambiente: série relatórios, Brasília, 2009.
- _____. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- _____. **Qualidade do ar**. Padrões de qualidade do ar. 2017. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). 2013. **Companhia de Saneamento do Pará: Histórico**. Disponível em: <http://www.cosanpa.pa.gov.br>. Acesso em 20 of March 2017.
- COUTO, R.C de S. Saúde e projetos de desenvolvimento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v.2, n.2, 1999.
- CUEVAS A.R.; RODRIGUES, M.K.E.; MUÑIZ, V.V.; CASTRO, C.V.; MATURELL, C.M. Enfermedad diarreica aguda en niños guatemaltecos menores de 5 años. **MEDISAN**, Santiago de Cuba, v. 18, n. 11, p. 1515-1523, 2014.
- DAVIDSON, E.A.; ARAUJO, A.C.; ARTAXO, P.; BALCH, J.K.; BROWN I.F.; BUSTAMANTE, M.M.C.; COE M.T.; DEFRIES, R.S.; KELLER, M.; LONGO M.;

- MUNGER, J.W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B.S.; SOUZA, C.M.; WOFSY, S.C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p.321, 2012.
- DOMINICI, F.; WANG, Y.; CORREIA, A.; EZZATI, M.; POPE, C.A.; DOCKERY, D.W. Chemical composition of fine particulate matter and life expectancy. **Epidemiology**, v.26, n.4, p.556-564, 2016.
- DONALDSON, K.; STONE, V.; SEATON, A.; MACNEE, W. Ambient particle and the cardiovascular system: potential mechanisms. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, p.523–527, 2001.
- EDMUNDS, W.M; SMEDLEY, P.L. Groundwater geochemistry and health: an overview. **Geological Society Special Publications**, v.113, p.91-105, 1996.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo. **São Paulo, FIESP, SENAI, SENAI, IRS**, 2005.
- FERRÉ-HUGUET, N.; NADAL,M.S.; DOMINGO,J.L. Human health risk assessment for environmental exposure to metals in the Catalan stretch of the EbroRiver,Spain.Human **Ecology Risk Assess**, v.15, p.604–623, 2009.
- FIGUEIREDO, B.R. **Minérios e ambiente**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2000.
- FIGUEIREDO, B.R.; LITTER, M.I. SILVA, C.R.; MAÑAY N.; LODONO, S.C.; ROJAS, A.M.; GARZÓN, C.; TOSIANI, T.; GIULIO, G.M.; CAPITANI, E.M.; DOS ANJOS, J.A.; MORITA, M.C.; CUNHA F.G.; SAKUMA, A.M.; LICHT O. Medical Geology Studies in South America. *Medical Geology, International Year of Planet Earth*, p.79-106, 2010.
- FLATEN, T.P.; ODEGARD, M. Tea, aluminium and Alzheimer's disease. **Food Chemical Toxicological**, v.26, n.1112, p.959-960, 1988.
- FORATTINI, O.P.; BRITO, M. Reservatórios domiciliares de água e controle do *Aedes aegypti*. **Revista de Saúde Pública**, v.37, n. 5, p:676-7, 2003.
- FREGONESI, B.M.; SAMPAIO, C.F.; RAGAZZI, M.F.; TONANI, K.A.A.; SEGURAMUÑOZ, S.I. *Cryptosporidium* e *Giardia*: desafios em águas de abastecimento público. **O Mundo da Saúde**, v.36, n.4, p.602-609, 2012.
- FREITAS, A.M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 e MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1750-1754, 2009.
- GADELHA, F.J.S.; DOMINGOS, M.S.C.; NOGUEIRA, M.F.L.; SILVA, M.L.L.; MACEDO, R.E.F.; SOUZA, G.C.; NESS, R.L.L. Verificação da presença de nitrito em águas de consumo humano da comunidade de várzea da cobra em limoeiro do norte-CE. **Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC**, Fortaleza, CE – Julho, 2005.
- GELDREICH, E.E. The bacteriology of water. In: **Microbiology and microbial infections**. 9th ed. London: Arnold; 1998.

- GHIO, A.J.; DEVLIN, R.B. Inflammatory lung injury after bronchial instillation of air pollution particles. **Ambient Journal Respiratory Critical Care Medicine**, v. 164, n.4, p.704–708, 2001.
- GILLILAND, F.D.; BERHANE, K.; ISLAM, T.; MCCONNELL, R.; GAUDERMAN, W.J.; GILLILAND, S.S.; PETERS, J.M. Obesity and the risk of newly diagnosed asthma in school-age children. **American Journal of Epidemiology**, v.158, n.5, p.406–415, 2003.
- GOMES, A.C.S.; COSTA, G.B.; VALE, R.S.; SANTANA, R.A.S.; BATALHA, S.S.A.; SILVA, J.T.; FITZJARRALD, D.R. Índices micrometeorológicos e internações de crianças por doenças respiratórias em Santarém, Oeste do Pará. **Ciência e Natura**, v.38, n.1, p.01-06, 2016.
- GONÇALVES, C.V.M.; FIGUEIREDO, B.R.; ALVES, C.A.; CARDOSO, A.A.; SILVA, R.; KANZAWA, S.; VICENTE, A.M. Chemical characterisation of total suspended particulate matter from a remote area in Amazonia. **Atmospheric Research (Print)**, v. 182, p. 102-113, 2016.
- GONÇALVES, C.V.M; FIGUEIREDO, B.R. Material particulado atmosférico da Amazônia - fontes e propriedades, In: GORAYEB, P.; MEIGUINS, A. (Orgs), **Contribuições à Geologia da Amazônia**, Belém, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, v. 9, p. 235-249, 2015.
- GONZALES, M.M.; SARMIENTO, L.; CASTAÑO, J.C.; GIRALDO, A.M.; SALAZAR, A.; MUÑOZ, N.J. Detección de poliovirus em águas residuais de Armenia, Colombia. **Revista de Salud Publica**, Bogotá, n.1, p.13-23, 2006.
- GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, n.6, p.1503-1510, 2012.
- GUARNIERI, M.D.; BLAMES, J.R. Outdoor air pollution and asthma. **Lancet**, v.383, n. 9928, p. 1581-1592, 2014.
- GURGUEIRA, S.A.; LAWRENCE, J.; COULL, B.; MURTHY, G.G.; GONZÁLEZ-FLECHA, B. Rapid increases in the steady-state concentration of reactive oxygen species in the lungs and heart after particulate air pollution inhalation. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, p.749–755, 2002.
- GUYON, P.; GRAHAN, B.; ROBERTS, G.C.; MAYOL-BRACERO, O.L.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P. Sources of optically active aerosols particles over the Amazon forest. **Atmospheric Environmental**, v.38, p.39-51, 2004.
- HALL, A.; HEWITT G.; TUFFREY, V.; SILVA, N. A review and meta- analysis of the impact of intestinal worms on child growth and nutrition. **Maternal Child Nutrition**, 2008.
- HUNTER, P.R. Drinking water and diarrhoeal disease due to Escherichia coli. **Journal of Water and Health**, v. 2, p.65- 72, 2003.

IGNOTTI, E.; VALENTE, J.G.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; HACON, S.D.S.; NETTO P.A. Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, v.44, p.121-30, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados gerais sobre Santarém**. 2017. Disponível em <http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150680>. Acesso em 05/08/2017.

_____. **Cidades Mojuí dos Campos**. 2017a. Disponível em <http://ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150475&search=para|moju%ED-dos-campos>. Acesso em 05/08/2017.

_____. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Universo – Características da População e dos Domicílios segundo ano e faixa etária. 2017b. Disponível em <http://www2.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 29 de Novembro de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Série Histórica – mensal**. Estação meteorológica de 82246 – Belterra – PA. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 14 de Setembro de 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES estima 7.989 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. 2016. Disponível online em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344. Acesso em 06 de Setembro de 2017.

_____. **INPE estima 6.624 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2017**. 2017. Disponível em http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4631. Acesso em 27 de novembro de 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Organização da Sociedade Civil de Interesse Público. **Ranking do Saneamento 2016**. São Paulo: março de 2016. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-4>. Acesso em 09/06/2017.

INVIK, J.; HERMAN, W.; BARKEMA, A.M.; NORMAN F.; NEUMANN, S.C. Total coliform and *Escherichia coli* contamination in rural well water: analysis for passive surveillance. **Journal of Water and Health**, v.1, 2017.

JACOBSON, L.S.V. **Efeitos adversos da poluição atmosférica em crianças e adolescentes devido a queimadas na Amazônia: uma abordagem de modelos mistos em estudos de painel**. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Saúde Coletiva, 2013. 193p. Tese (Doutorado), UFRJ, 2013.

JACOBSON, L.S.V.; HACON, S.; CASTRO, H.A.; IGNOTTI, E.; ARTAXO, P.; PONCE, L.A. Associação entre material particulado fino e o pico de fluxo expiratório dos escolares na subequatorial Amazônia brasileira: um estudo de painel. **Environmental Research**, v.117, p.27-35, 2012.

JONES, R.R.; WEYER, P.J.; DELLAVALLE, C.; CHOI, M.I.; ADERSON, K.E.; CANTOR, K.P.; KRASNER, S.; ROBIEN, K. FREEMAN, L.E.B.; SILVERMAN, D.T.; WARD, M.H.

Nitrate from drinking water and diet and bladder cancer among postmenopausal women in Iowa. **Environmental Health Perspectives**, v.124, n.11, 2016.

JULIÃO, F.C. **Avaliação das condições microbiológicas e físico químicas da água de reservatório domiciliar e predial: importância da qualidade dessa água no contexto da saúde pública.** Ribeirão Preto: USP, 2011. 157p. Tese (Doutorado). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2011.

KREWSKI, D.; BURNETT, R.; GOLDBERG, M.K.; 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**, v. 66, n.16-19, 0.1507-51, 2003.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** Editora Perspectiva, 1990.

KUNZLI, N.; JERRETT, M.; MACK, W.J.; BECKERMAN, B.; LABREE, L.; GILLILAND, F.; THOMAS, D.; PETERS, J.; HODIS, H.N. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, p.201–206, 2005.

KUSCHNER, W.G.; WONG, H.; DALESSANDRO, A.; QUINLAN, P.; BLANC, P.D. Human pulmonary responses to experimental inhalation of high concentration fine and ultrafine magnesium oxide particles. **Environmental Health Perspectives**, v. 105, n. 11, p. 1234-7, 1997.

LATHAM, M.C.; STEPHENSON, L.S.; KURZ, K.M.; KINOTI, S.N. Metrifonate or praziquantel treatment improves physical fitness and appetite of Kenyan schoolboys with *Schistosoma haematobium* and hookworm infections. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v.43, p.170-176, 1990.

LEE, S.H.; LEVY, D.A.; CRAUN, G.F.; BEACH, M.J.; CALDERON, R.L. Surveillance for waterborne-disease outbreaks - United States, 1999-2000. **CDC Morbidity and Mortality Weekly Report**, v.51, 2002.

LI, S.; ZHANG, Q. Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River. **China.Journal Hazard.Mater**, v.181, p.1051–1058, 2010.

LONGO, K.M.; THOMPSON, A.M.; KIRCHHO, W.J.H.; REMER, L.A.; FREITAS. S.R.; SILVA DIAS, M.A.F.; ARTAXO, P.; HART, W.; SPINHIRNE, J.D.; YAMASOE, M.A. Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in CuiabaH during Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B). **Journal of the Geophysical Research**, 1999.

MACEDO, M.N.; DEFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; STICKLER, C.M.; GALFORD, G.L.; SHIMABUKURO, Y.E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **PNAS**, v. 109, n. 4, p.1341-1346, 2012.

MACHADO, C.S. **Quantificação do risco à saúde humana pela exposição a poluentes químicos e potencial carcinogênico às comunidades adjacentes ao Rio Pardo, Brasil.** Ribeirão Preto: USP, 2016. 177p. Tese (Doutorado). Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2016.

- MAENHAUT, W. et al. Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, v. 189, p. 243–248, 2002.
- MAJUMDAR, D.; GUPTA, N. Nitrate pollution of groundwater and associated human health disorders. **Indian Journal of Environmental Health**, v.42, n. 1, p.28-39, 2000.
- MANASSARAM, D. M.; BACKER, L.C.; MOLL, D.M. A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. **Ciência e saúde coletiva**, v. 12, n. 1, p. 153-163, 2007.
- MASCARENHAS, M.D.M.; VIEIRA, L.C.; LANZIERI, T.M, LEAL, A.P.PR.; DUARTE, A.F.; HATCH, D.L. Poluição atmosférica devido à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doenças respiratórias em Rio Branco, Brasil – Setembro de, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.34, p.42-46, 2008.
- MANASSARAM, D.M.; BACKER, L.C.; MOLL, D.M. A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 153-163, 2007.
- MCCLOY, R.F.; GRENBERG, G.R.; BARON, J.H. Duodenal pH in health and duodenal ulcer disease: effect of a meal, Coca-Cola, smoking and cimetidine. **Gut**, v.25, 0.386-392, 1984.
- MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. de O.; GUIMARAES, R. M. Avaliação da qualidade da água de consumo por comunidades ribeirinhas em áreas de exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 695-708, 2016.
- MENDES, A.; GALVÃO, P.; SOUSA, J.; SILVA, I.; CARNEIRO, R.N. Relations of the groundwater quality and disorderly occupation in an Amazon low income neighbourhood developed over a former dump area, Santarém-PA, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, p.1-16, 2017.
- MENEGUESSI, G.M.; MOSSRI, R.M.; SEGATTO, T.C.V.; REIS, P.O. Morbimortalidade por doenças diarreicas agudas em crianças menores de 10 anos no Distrito Federal, Brasil, 2003 a 2012. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.24, n.3, p.721-730, 2015.
- MEYER-BARON, M.; SCHAPER, M.; KNAPP, G.; VAN –THRIEL, C. Occupational aluminium exposure: evidence in support of its neurobehavioral impact. **Neurotoxicology**, v. 28, n.6, p. 1068-1078, 2007.
- MOLLY, D.W.; STANDISH, T.I.; NIEBOER, E.; TURNBULL, J. D.; SMITH, S.D.; DUBOIS, S. Effects of acute exposure to aluminium on cognition in humans. **Journal Toxicological Environmental Health**, v.70, p.2011-2019, 2007.
- NADAL, M.; SCHHMACHER, M.; DOMINGO, J.L.; Long term environmental monitoring of persistent organic pollutants and metals in a chemical – petrochemical area: human health risks. **Environmental Pollution**, v.159, p.1769-1777, 2011.

- NALBANTCILAR, M.T.; PINARKARA, S.Y. Public health risk assessment of groundwater contamination in Batman, Turkey. **Journal of Water and Health**, v.14, n. 4, p.650-661, 2016.
- NASCIMENTO, V.S.F.; ARAÚJO, M.F.F.; NASCIMENTO, E.D.; SODRÈ, N.L. Epidemiologia de doenças diarreicas de veiculação hídrica em uma região semiárida brasileira. **ConScientiae e Saúde**, v.12, n.3, p.353-361, 2013.
- NASCIMENTO, F.S.; FRAIA, R.S.; FENZL, N. **Caracterização química da água potável do município de Santarém, estado do Pará: uma análise comparativa**. In: XIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Fortaleza, 2016.
- NEL, A. Air Pollution Related Illness: effects of particles. **Science**, v. 308, n.5723, p.804-806, 2005.
- NEPSTAND, D.C.; STICKLER, C.M.; ALMEIDA, O.T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for conservation. **Conserv Biology**, v. 20, p.1595–1603, 2006.
- NEVES, D.P. **Parasitologia Humana**. 11^o ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.
- OLIVEIRA, B.F.A. **Avaliação do risco para saúde infantil relativa à exposição ao PM2,5 proveniente da queima de biomassa no município de Tangará da Serra – MT**. Dissertação (Mestrado): Rio de Janeiro, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, FIOCRUZ, 2011.
- OLIVEIRA, B.F.A.; 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. **Cadernos de Saúde Pública**, v.27, n.9, 2011.
- OLIVEIRA, T.C.R.; LATORRE, M.R.D.O. Tendências da internação e da mortalidade infantil por diarreia: Brasil, 1995 a 2005. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n.1, p.102-11, 2010.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Coping with water scarcity: challenge of the twenty first century**. Roma, 29p., 2007.
- PAIM, J. S. A Reforma Sanitária e os Modelos Assistenciais In: ROUQUAYROL, M. Z. **Epidemiologia & Saúde**. Rio de Janeiro: MEDSI, p.455-466, 1994.
- PAIM, J. S. Modelos de atenção e vigilância da saúde. In: ROUQUAYROL, M. Z.; ALMEIDA FILHO, N. **Epidemiologia & Saúde**. Rio de Janeiro: 6. ed., MEDSI, p.567- 586, 2003.
- PASSIG, F. H.; LIMA, S.B.; CARVALHO, K.Q.; HALMEMAN, M.C.R.; SOUZA, P.C.; GUSMÃO, L.K. Monitoring of urban and rural basins: water quality of Mourão basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 158-164, 2015.
- PLUTZER, J.; KARANIS, P.; DOMOKOS, K.; TÖRÖKNÉ, A.; MÁRIALIGETI, K. Detection and characterisation of Giardia and Cryptosporidium in Hungarian raw, surface and

- sewage water samples by IFT, PCR and sequence analysis of the SSUrRNA and GDH genes. **International Journal Hygiene and Environmental Health**, n.211, p.524-33, 2008.
- POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN, T. Treatment of pulp and paper mill wastewater a review. **Science of the Total Environment**, v.333, n.1-3, p.37-58, 2004.
- POPE, C.A.; BURNETT, R.T.; THUN, M.J.; CALLE E.E.; KREWSKI, D.; ITO, K.; THURSTON, G.D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **Journal of the American Medical Association**, v.287, p.1132–1141, 2002.
- POTTER, P.A; PERRY, A.G. **Fundamentos de Enfermagem**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elviesier, 2009.
- POPE, C.A.; DOCKERY, D.W. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. **J Air & Waste Manage Assoc.**, v.56, p.709-742, 2006.
- POPE, C.A.; BURNETT, R.T; THURSTON, G.D.; THUN, M.J.; CALLE, E.E.; KREWSKI, D.; GOLDLESKI, J.J. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. **Circulation**, v.109, p.71-7, 2004.
- QUEIROZ, J.T.M.; HELLER, L.; SILVA, S.R. Análise da correlação de ocorrência da doença diarreica aguda com a qualidade da água para consumo humano no município de Vitória-ES. **Saude e Sociedade**, v. 18, n. 3, p. 479-489, 2009.
- RADICCHI, A.L.A; LEMOS, A.F. **Saúde Ambiental**. Belo Horizonte: Nescon- UFMG, Coopmed, 76p., 2009.
- RAMOS, R.R. Saúde Ambiental: uma proposta interdisciplinar. **Hygeia**, v. 09, p.67-73, 2013.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. 3. ed. **São Paulo: Escrituras**, 748 p, 2006.
- RIBEIRO, H. Saúde pública e Meio Ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde e Sociedade**, v.13, p.70-80, 2004.
- ROSA, M.R.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S.; CASTRO, H. Análise das internações por doenças respiratórias em Tangará da Serra - Amazônia Brasileira. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.34, p.575-82, 2008.
- SALA DE APOIO Á GESTÃO ESTRATÉGICA (SAGE). Ministério da Saúde. **Indicadores de Saúde**. Disponível em <http://sage.saude.gov.br/#>. Acesso em 29 de Novembro de 2017.
- SCORSAFAVA, M.A.; SOUZA, A.; STOFER, M.; NUNES, C.A; MILANEZ, T.V. Physico-chemical characteristics of the public drinking water of the region os Vale do Ribeira, SP, Brazil. **Revista do Institute Adolfo Lutz**, v.72, n.1, p.81-86, 2013.
- SEATON, A.; MACNEE, W.; DONALDSON, K.; GODDEN, D. Particulate air pollution and acute health effects. **Lancet**, 1995.

- SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE DO PARÁ (SESPA). **Sespa inaugura em Capanema laboratório para análises de água**. 2015. Disponível em: <http://www.saude.pa.gov.br/2015/08/21/sespa-inaugura-em-capanema-laboratorio-para-analise-de-agua-2>. Acesso em 12 de Setembro de 2017.
- SILVA, A.M.C.; MATTOS, I.; FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; HACON, S. Material Particulado (PM 2.5) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.13, n.2, p.337-351, 2010.
- SILVA, M.L.da. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). **Revista Escola Minas** (online), v.54, n.02, p. 115-120, 2011.
- SILVA, M.M.A.P.M; FARIA, S.D; MOURA, P.M. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 133-143, 2017.
- SILVEIRA, J.T.; CAPALONGA, R.; OLIVEIRA, A.B.A.; CARDOSO, M.R.I. Avaliação de parâmetros microbiológicos de potabilidade em amostras de água provenientes de escolas públicas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.70, n.3, p.362-7, 2011.
- SINDICATO DOS TRABALHADORES E TRABALHADORAS RURAIS (STTR) - SANTARÉM. **Carta do I Fórum de Determinantes Sociais em Saúde do Oeste do Pará**. 2016. Disponível em: <http://dssbr.org/site/2016/04/i-forum-de-determinantes-sociais-em-saude-do-oeste-do-para-carta-de-santarem-2/>. Acesso em 12 de Setembro de 2017.
- SIQUEIRA, G. W.; APRILE,F; MIGUÉIS, A.M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). **Acta Amazônica**, v. 42, n.3, p. 413 – 422, 2012.
- SIQUEIRA, L. P.; SHINOHARA, N. K. S.; LIMA, R. M. T.; PAIVA, J. E.; FILHO, J. L. L.; CARVALHO, I. T. Avaliação microbiológica da água de consumo empregada em unidades de alimentação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 63-66, 2010.
- SISENADO, H.A.; BATISTUZZO, M.S.R.; ARTAXO, P.; SALDIVA, P.H.; HACON, S.S. micronucleus frequency in children exposed to biomass burning in the Brazilian Legal Amazon region: a control case study. **BMC oral Health**, v.12, n.6, 2012.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMATIZAÇÃO DE AMBIENTE HOSPITALAR (HOSPUB). Ministério da Saúde. **Relação de pacientes egressos por procedimento de 01-01-2014 a 31-12-2016**. Santarém, Hospital Municipal de Santarém, 2017.
- SISTEMA DE MORTALIDADE INFANTIL (SIM). Ministério da Saúde. **Óbito por todas as causas em menores de 1 ano até 19 anos**. Divisão de Saúde, 2017.
- SIVEP – DDA. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Casos de Doença Diarreica Água (DDA) por Semana Epidemiológica, segundo faixa etária, plano de tratamento**. 9ª Regional de Proteção Social, Pará, 2017.

- SMITH, K.S.; HUYCK, H.L.O. An overview on the abundance, relative mobility, bioavailability, and human toxicity of metals. **Reviews in Economic Geology**, v.6, p.29-64, 1999.
- SOLFRIZZI, V.; PANZA F.; CAPRESO, A. The role of diet in cognitive decline. **Journal Neurological Transmition** , v.110, p.95-110, 2003.
- SOUSA, L.M; SILVA, I.L.S; OLIVEIRA,L.L. Influência das águas pluviais locais na recarga de água do poço de abastecimento público em Santarém – PA. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, 2014. Anais, Belo Horizonte, 2014.
- STEPHENSON, L. S. **The impact of helminth infections on human nutrition**. London: Taylor & Francis, 1987.
- SUNDERLAND, D.; GRACZYK, T.K.; TAMANG, L.; BREYSSE, P.N. Impact of bathers on levels of *Cryptosporidium parvum* oocysts and *Giardia lamblia* cysts in recreational beach waters. **Water Research**, v. 41, n.15, p.3483-9, 2007.
- SUWA, T.; HOGG, J.C.; QUINLAN, K.B.; OHGAMI, A.; VICENT R.; VANEEDEN, S.F. Particulate air pollution induces progression of atherosclerosis. **Journal of the American College of Cardiologists**, v.39, p.935–942, 2002.
- SWANN, P.F. The toxicology of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. **Journal of the Science of food and Agriculture**, v.26, p.1761–1770, 1975.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção**. Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA), 1996. 146p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1996.
- TANEJA, P.; LABHASETWAR, P.; NAGARNAIK, P.; ENSINK, J.H. The risk of câncer as a resulto f elevated levels os nitrate in drinking water and vegetables in central India. **Journal and Health**, v. 15, n. 4, p. 602-614, 2017.
- TEIXEIRA, C.F. Promoção da saúde e SUS: um diálogo pertinente. In TEIXEIRA, C.F.; SOLLA, J.P. **Modelo de atenção à saúde: vigilância e saúde da família**. Salvador: Editora EDUFBA, 237p., 2006.
- TISCH ENVIRONMENTAL **Operations Manual Ambient Cascade Impactor (Non-viable) Model 20-800**. Ohio: 1999.
- TOASSI, R.F.C.; ABEGG, A. Fluorose dentária em escolares de um município da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Cadernos Saúde Pública**, v. 21, n.2, p. 652-655, 2005.
- TURDI, M.; YANG, L. Trace elements contamination and human health risk assessment in Drinking Water from the Agricultural and Pastoral Areas of Bay County, Xinjiang, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.13, n. 938, 2016.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)**. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, Dezembro, 1989.

_____. **Quantitative Uncertainty Analysis of Superdund Residential Risk Pathway Models for Soil and Groundwater: White paper**, Oak Ridge, Tennessee, US Department of Energy, 1996.

_____. **Drinking water from household wells**. Washington, DC, 2002.

_____. **Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA**. Washington, DC, 2005.

_____. **A Framework for Assessing Health Risks of Environmental Exposures to Children**. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, Setembro 2006.

_____. **Integrated Risk Information System (IRIS)**. Washington, DC, 2014. Disponível em <http://www.epa.gov.br/iris>. Acesso em 20 Março de 2017.

VANIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por Nitrato no parque ecológico do Tietê – São Paulo, Brasil. **Revista Aguas Subterrâneas**, n.16, 2002.

VANIER, C.; FIGUEIREDO, G.M.; ODA, G.H.; IRITANI, M.A.; FERREIRA, L.; TAVARES, T.; ALBUQUERQUE, J.L. Ocorrência de Nitrato no sistema aquífero Bauru e sua relação com a ocupação urbana no município de Marília (SP). In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, **Anais**, Campinas, Setembro de 2016.

VELÁSQUEZ, L.N.M.; FANTINEL, L.M.; FERREIRA, E.F.; CASTILHO, L.S.; UHLEIN, A.; VARGAS, A.M.D.; ARANHA, P.R.A. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais, Brasil. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M.; CUNHA, F.G (eds.) **Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pp.: 110-117, 2006.

WALKER, R. The metabolism of dietary nitrites and nitrates. **Biochemical Society Transactions**, v. 24, p.780–785, 1996.

WALTON, J.R. Chronic Aluminium Intake Causes Alzheimer’s Disease: Applying Sir Austin Bradford Hill’s Causality Criteria. **Journal of Alzheimer’s Disease**, v.40, p.765-838, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Strengthening interventions to reduce helminth infections as an entry point for the development of health promoting schools**. Geneva, 1996.

_____. **Aluminium in Drinking-water**. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, 2003.

_____. **pH in Drinking – Water**. WHO Library Cataloguing in Publication Data, Geneva, 2003a.

_____. **Boron in drinking water**. WHO Library Cataloguing in Publication Data, Geneva, 2003b.

_____. **Water Requirements, Impinging Factors, and recommended Intakes.** Rolling Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality by A. Grandjean, 2004.

_____. **Barium in drinking water.** WHO Library Cataloguing in Publication Data, Geneva, 2004a.

_____. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide – Global update 2005.** Geneva, 2005.

_____. **Protecting Groundwater for Health.** London, 2006.

_____. **Growth reference data for 5-19 years.** 2007. Disponível em: <http://www.who.int/growthref/en/>. Acesso em 14 de Setembro de 2017.

_____. **Guidelines for Drinking Water Quality: third edition incorporating the first and second addenda.** Geneva, 2008.

_____. **Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants.** WHO Regional Office for Europe, Denmark. 2010.

_____. **Aluminum in drinking water** – background document for development of WHO guidelines for drinking water quality. Geneva, 2010a.

_____. **Guidelines for Drinking-water Quality.** Geneva, 4 ed., 2011.

_____. **Health effects of particulate matter Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia.** Regional Office for Europe, Geneva, 2013.

_____. **Sulfate in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.** Geneva, WHO, 2014.

_____. **Preventing disease through healthy environments.** Switzerland, 2016.

_____. **Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.** Geneva, 2016a.

_____. **Guidelines for drinking water quality: fourth edition incorporating the first addendum.** WHO Library Cataloguing in Publication Data, Geneva, 2017.

_____. **Global ambient air pollution – maps 2017.** Mapa interativo. 2017a. Disponível em <http://maps.who.int/airpollution/>. Acesso em 13 de Setembro de 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) – UNICEF. **Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment.** Library Cataloguing-in-Publication Data, 2015.

WYNN, E.; KRIEG, M.A.; LANHAM-NEW, S.A.; BURCKHARDT, P. Postgraduate Symposium Positive influence of nutritional alkalinity on bone health. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 69, p. 166–173, 2009.

YAMASOE, M.A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A.H.; ALLEN, A.G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environmental**, v.34, p.1641-53, 2000.

ZAN, R.A.; COSTA, A..L.; COSTA, J.B.; MENEGUETTI, D.U.O. Análise microbiológica de amostras de água de poços rasos localizados no município de buritis, região do vale do Jamari, Rondônia, Amazônia ocidental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, nº 8, p. 1867-1875, 2012.

ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. Air pollution and emergency admissions in Boston, MA. **Journal Epidemiological Community Health**, v.60, p890-895, 2006.

APÊNDICE I- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

O Sr (a) como responsável legal e a criança estão sendo convidados (as) a participarem, como voluntários (as), da pesquisa: “**Água e Material Particulado Atmosférico inalável na região de Santarém, Amazônia: implicações para saúde de escolares**”, da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) sob responsabilidade da aluna de doutorado Marina S Celere, que tem por finalidade analisar a água e o ar na escola em que a criança estuda, bem como, coletar informações dos escolar que o torna favorável a adoecer pela poluição da água e/ou do ar.

A participação do Sr (a) nesse estudo consistirá em informar através de um questionário questões relativas aos dados pessoais da criança; aos hábitos de consumo de água e à exposição a poluentes do ar; além disso, será realizado um exame clínico no escolar para verificar algum sinal ou sintoma decorrente da ingestão de água contaminada e/ou exposição à poluição atmosférica.

A participação nesta pesquisa não traz complicações legais e não interferirá em nenhum momento na qualidade do ensino, frequência e andamento escolar; não trará nenhum prejuízo. Considera-se que o único risco ao participante poderá ser algum constrangimento nas respostas do questionário que será minimizado assegurando o sigilo das informações relatadas. A qualquer momento o Sr (a) poderá pedir esclarecimentos sobre o andamento e os resultados do estudo, os quais serão utilizados somente para fins acadêmicos e para publicações em meios científicos, respeitando sempre o sigilo das informações e o seu anonimato; sua participação não trará nenhum benefício direto a você e ao escolar, no entanto, esperamos que este estudo colabore para melhorar os problemas relacionados ao consumo inadequado da água e da poluição atmosférica. Nada será pago pela participação de vocês a qual poderá ser interrompida em qualquer fase da pesquisa sem penalização ou prejuízo para a sua pessoa e escolar, caso assim decida, basta entrar em contato comigo por meio do endereço e telefones constantes na parte final deste termo. Após estes esclarecimentos,

solicitamos seu consentimento para participação nessa pesquisa. Este termo será assinado em duas cópias, assegurando-lhe o direito de receber uma delas assinada.

Consentimento Livre e Esclarecido do participante da pesquisa

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu _____, portador do RG _____, de forma livre e esclarecida, concordo e manifesto meu consentimento em participar desta pesquisa.

Assinatura do Participante

Eu, *Marina S Celere* (pesquisadora responsável) declaro que cumprirei todos os itens acima listados para a presente pesquisa, sem mais a declarar.

Assinatura da pesquisadora

* Enfermeira (COREN PA 165541), aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento da UFOPA e docente do Instituto de Saúde Coletiva da UFOPA. Telefone: (093) 9914011. Endereço: Av Mendonça Furtado 2946 sala 224, Santarém, Pará.

- Comitê de ética em Pesquisa (CEP): Av. Plácido de Castro 1399 Campus XII UEPA– Santarém. Telefone: 3523 -5118

APÊNDICE II - TERMO DE ASSENTIMENTO (no caso do menor)

Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Qualidade da água e do ar em escolas de ensino Fundamental na região de Santarém e efeitos em saúde de crianças”. Seus pais permitiram que você participe. Queremos saber qual a relação do meio ambiente (água e ar) com a sua saúde. As crianças que irão participar dessa pesquisa têm de 5 a 15 anos de idade. Você não precisa participar da pesquisa se não quiser, é um direito seu, não terá nenhum problema se desistir. A pesquisa será feita na escola em que você estuda, onde as crianças fornecerão através de seus pais informações sobre a sua saúde e possíveis doenças. Para isso, será usado um questionário. O uso do questionário é considerado seguro, mas é possível ocorrer algum constrangimento para isso manteremos todas as informações de forma secreta. Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelo telefone (93 -9914011) da pesquisadora (Enfermeira Marina S Celere). As coisas boas que podem acontecer são: melhorar a qualidade da água que você bebe; melhorar a saúde das crianças que estudam nessa escola e melhorar a qualidade do ar que você respira. Ninguém saberá que você está participando da pesquisa, não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa vão ser publicados em meios científicos, mas sem identificar as crianças que participaram da pesquisa. Quando terminarmos a pesquisa traremos todos os resultados e disponibilizaremos aos participantes. Caso não queira mais participar da pesquisa basta informar a pesquisadora ou aos seus pais.

Eu, _____ fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações, e o meu responsável poderá modificar a decisão de participar se assim o desejar. Tendo o consentimento do meu responsável já assinado, declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Assinatura do(a) menor

Eu, Marina S Celere (pesquisadora responsável) declaro que cumprirei todos os itens acima listados para a presente pesquisa, sem mais a declarar.

*Assinatura da pesquisadora**

Data:, ____ de _____ de 20____

Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar:

* Enfermeira (COREN PA 165541), aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento da UFOPA e docente do Instituto de Saúde Coletiva da UFOPA. Telefone: (093) 9914011. Endereço: Av Mendonça Furtado 2946 sala 224, Santarém, Pará.

- Comitê de ética em Pesquisa (CEP): Av. Plácido de Castro 1399 Campus XII UEPA– Santarém. Telefone: 3523 -5118

APENDICE III - QUESTIONÁRIO

1. () feminino () masculino ---- PESO: _____ ALTURA: _____
 BAIRRO onde mora: _____

2. Qual a renda média de sua família?

- () Menor que 1 salário mínimo
 () 1 a 2 salários mínimos
 () mais do que 3 salários mínimos
 () mais do que 5 salários mínimos

3. Escolaridade do chefe de família:

- Sem escolaridade ()
 Ensino Fundamental comp. () incon. ()
 Ensino Médio comp. () incon. ()
 Ensino Superior comp. () incon. ()
 Pós Graduação comp. () incon. ()

4. Qual a ocupação do responsável da família? _____

5) Qual a origem da água utilizada para consumo no seu domicílio?

- () poço da COSANPA
 () poço próprio
 () microssistema
 () outra fonte. Qual? _____.

6) A sua residência possui caixa d'água?

- () sim
 () não

7) Sabe qual o período correto para a limpeza da caixa d'água?

- () 6 meses
 () 1 ano
 () 2 anos ou mais

8) Há quanto tempo foi realizada a última limpeza da caixa d'água de seu domicílio?

- () menos de 6 meses
 () mais de 6 meses

9) A água que chega na sua torneira tem qual aspecto?

- límpida e sem odor
 escurecida em alguns períodos do dia
 apresenta corpos sólidos

10) Para consumir água/ beber você utiliza a água vinda da caixa d'água?

- sim
 não. Qual a outra fonte? _____

11) Para consumir água / beber, você utiliza alguma medida de “limpeza”?

- não
 sim, qual? filtros de carvão
 hipoclorito , quantas gotas? _____
 outra medida. Qual? _____

12) Você tem o hábito de consumir alimentos crus como saladas, frutas?

- sim não

13) Qual o procedimento que você utiliza para lavar esses alimentos?

- apenas com água
 com água e sabão
 com água e hipoclorito

14) O escolar faz uso e/ou já fez de remédio para vermes?

- não sim. Quando foi a última vez? _____

15) O escolar apresenta com frequência doenças diarreicas?

- sim. Quantas vezes por mês? _____
 muito raro. Quantas vezes por ano? _____
 não apresenta durante o ano todo.

16) Quando o escolar tem alguma doença diarreica, o que é feito?

- procura um médico
 utiliza algum chá, plantas. Qual? _____
 nada
 outro. Qual? _____

17) O escolar já apresentou ou apresenta alguma doença relacionada ao pulmão (pneumonia; tosse; rinite...)?

- Não Sim. Qual? _____.
 Com qual frequência? _____.

18) O escolar já precisou ficar internado por alguma doença respiratória?

Não Sim. Qual? _____.

19) Fora do ambiente escolar a criança tem contato frequente com fontes de poluição atmosférica? Marque as opções em caso positivo:

Não

Sim. Qual: poeira das ruas fumaça dos veículos queima do lixo

pulverização de agrotóxicos queima de floresta

outra _____

20) O escolar apresenta tosse constantemente?

Não Sim. Com qual frequência anual? _____

21) Quando o escolar tem alguma doença respiratória, o que é feito?

procura um médico

utiliza algum chá, plantas. Qual? _____

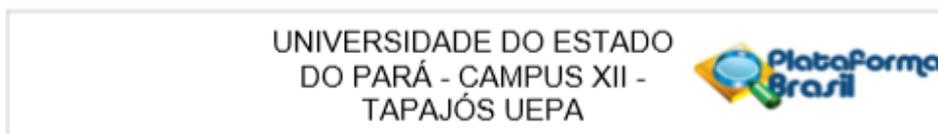
nada

outro. Qual? _____

22) Na sua casa vocês queimam algum produto como folhas, lixo ou outro?

Não Sim. Qual? _____

ANEXO I – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA (CEP)



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Qualidade da água e do ar em escolas de ensino Fundamental na região de Santarém e efeitos em saúde de crianças

Pesquisador: Marina Smidt Celere Meschede

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 49597015.2.0000.5168

Instituição Proponente: Universidade Federal do Oeste do Pará

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.318.594

Apresentação do Projeto:

As crianças de ensino fundamental podem passar de 5 a 11 horas dentro do ambiente escolar. Evidências mostram que a má qualidade da água e do ar interior podem causar doenças levando a ausências na frequência escolar e diminuição no desempenho dos alunos. As doenças denominadas de veiculação hídrica podem estar associadas a uma água imprópria para consumo causando prejuízos à saúde, entre eles, as doenças diarreicas. Em relação à qualidade do ar, estudos evidenciam um aumento consistente de doenças respiratórias associadas à exposição de poluentes, principalmente nos grupos mais suscetíveis como crianças. De forma geral, as crianças requerem maior proteção à saúde, uma vez que são mais vulneráveis aos efeitos causados pelos riscos ambientais, por apresentarem imaturidade no sistema imunológico e nos hábitos de higiene pessoal.

**UNIVERSIDADE DO ESTADO
DO PARÁ - CAMPUS XII -
TAPAJÓS UEPA**



Continuação do Parecer: 1.318.554

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

todos foram apresentados

Recomendações:

Recomendamos envio de relatório parcial e final para este CEP conforme estabelece a portaria 466/12

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Recomendamos envio de relatório parcial e final para este CEP conforme estabelece a portaria 466/12

Considerações Finais a critério do CEP:

A pesquisadora deve anexar na plataforma brasil, os relatórios parcial e final do estudo.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PIB INFORMACOES BASICAS DO PROJETO 587183.pdf	26/10/2015 15:54:41		Acelto
Outros	semed.pdf	26/10/2015 15:53:21	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_CEP_20_10_2015.pdf	26/10/2015 15:48:03	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_E_ASSENTIMENTO.docx	26/10/2015 15:44:04	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto
Cronograma	cronograma.docx	26/10/2015 15:42:43	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto
Outros	cartaescolar.PDF	26/09/2015 14:30:15	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto
Folha de Rosto	folharosto_marina.PDF	22/09/2015 10:08:43	Marina Smidt Celere Meschede	Acelto

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

Endereço: Av. Plácido de Castro, 1369
Bairro: Aparecida CEP: 68.040-000
UF: PA Município: SANTAREM
Telefone: (93)3512-8013 Fax: (91)3278-8052 E-mail: mgotym@gmail.com

ANEXO II – LIMITE DE DETECÇÃO DO ICPMS PARA ELEMENTOS TRAÇO

	SLRS-5	SLRS-5		SLRS-6	SLRS-6		Limites
	Obtido	Compilação (Yeghicheyan et al, 2013)		Obtido	Certificado	incerteza	de Detecção
Li	0,44	0,45	0,09	0,54			0,01
Be	<LD	0,0046	0	<LD	0,0066	0,0022	0,007
B	5,78	6,56	0,91	6,78			1,2
Na	4701	5461	1016	2519	2770	220	2,0
Mg	2383	2518	297	2091	2137	58	0,2
Al	46,3	48,7	7,9	33,1	33,9	2,2	0,4
Si	1975	1922	165	2477			913
K	881	859	142	644	652	54	47
Ca	9867	10320	1185	8499	8770	200	9
Sc	<LD	0,017	0,041	<LD			0,4
Ti	2,74	1,86	0,34	1,21			0,08
V	0,33	0,338	0,045	0,33	0,352	0,006	0,003
Cr	0,23	0,217	0,041	0,24	0,252	0,012	0,01
Mn	3,95	4,2	0,5	1,95	2,12	0,1	0,03
Fe	95,3	91,4	12,7	84,4	84,5	3,6	1,6
Co	0,06	0,056	0,011	0,054	0,053	0,012	0,006
Ni	0,50	0,477	0,135	0,58	0,617	0,022	0,04
Cu	17,1	17,5	2,6	23,1	24	1,8	0,05
Zn	0,87	0,993	0,145	1,70	1,76	0,12	0,10
Ga	0,009	0,02	0,01	0,008			0,001
Ge	0,004	0,015	0,014	0,004			0,001
As	0,42	0,388	0,09	0,541	0,57	0,08	0,005
Se	<LD			<LD			0,7
Rb	1,19	1,24	0,37	1,388			0,01
Sr	51,4	53,8	5,7	40	40,72	0,32	0,009
Y	0,11	0,112	0,009	0,125			0,005
Zr	0,04	0,02	0,03	0,069			0,004
Nb	<LD	0,0036	0,0016	<LD			0,008
Mo	0,20	0,22	0,02	0,167	0,215	0,018	0,004
Ag	<LD	0,0098	0,0008	<LD			0,001
Cd	0,006	0,007	0,004	0,006	0,0063	0,0014	0,004
Sn	<LD	0,005	0,0004	<LD			0,07
Sb	0,298	0,32	0,07	0,319	0,3377	0,0058	0,001
Cs	0,004	0,0049	0,0019	0,004			0,0005
Ba	13,8	14,2	1,4	14	14,3	0,48	0,009
La	0,194	0,2072	0,0128	0,242			0,006
Ce	0,235	0,2523	0,0597	0,287			0,007
Pr	0,043	0,0491	0,0072	0,054			0,001
Nd	0,181	0,1921	0,0464	0,213			0,005
Sm	0,030	0,0337	0,0044	0,037			0,001
Eu	0,004	0,0061	0,0011	0,006			0,0005
Gd	0,023	0,0267	0,0044	0,031			0,001
Tb	0,003	0,0034	0,0006	0,004			0,0003
Dy	0,016	0,0191	0,002	0,018			0,001
Ho	0,003	0,0037	0,0004	0,004			0,0002
Er	0,009	0,0109	0,0012	0,013			0,0005
Tm	0,001	0,0015	0,0005	0,002			0,0002
Yb	0,008	0,0101	0,0016	0,008			0,0003
Lu	0,001	0,0017	0,0004	0,002			0,0002
Hf	0,002			0,002			0,001
Ta	<LD			<LD			0,005
W	0,003	0,014	0,018	0,005			0,001
Tl	0,004	0,0039	0,0024	0,008			0,0003
Pb	0,075	0,083	0,025	0,162	0,17	0,026	0,002
Bi	0,001	0,0009	0,0003	0,001			0,001
Th	0,013	0,0136	0,0033	0,022			0,005
U	0,084	0,093	0,015	0,066	0,0699	0,0034	0,002

ANEXO III – AUTORIZAÇÕES PARA EXECUÇÃO DA PESQUISA



PREFEITURA DE SANTARÉM
SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO -SEMED

Autorização

Santarém, 20 de Outubro de 2015.

A Secretaria Municipal de Educação de Santarém, situada na Avenida Dr. Anysio Chaves, 712 — Aeroporto Velho, na cidade de Santarém CEP 68.030-290, CNPJ n° 05.182.233/0010-67, declara e autoriza a disponibilização sua estrutura física e pessoal para atender aos propósitos de execução das atividades do projeto de pesquisa de doutorado **“Qualidade da água e do ar em escolas de ensino Fundamental na região de Santarém e efeitos em saúde de crianças”** na **Escola Padre Manoel Albuquerque**. A proposta de pesquisa implicará basicamente na coleta de amostras de água e de ar dentro da escola, bem como, a coleta de informações relacionadas à saúde dos escolares, mediante autorização dos responsáveis.

A pesquisa será realizada sob a coordenação da Doutoranda, Marina S. Celere Meschede.


Maria Irene Escher Boger
Secretária Municipal de
Educação - SEMED
Decreto n.º 004/2013



PREFEITURA MUNICIPAL DE MOJUI DOS CAMPOS
SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO-SEMED
CNPJ: 17.349.848/0001-23

Ofício Nº 92/ 2015-Semed

Mojuí dos Campos-Pará, 26 de Outubro de 2015.

À Sra.
Marina S Celere Meschede
Aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação Sociedade Natureza e
Desenvolvimento da Universidade Federal do Oeste do Pará (PPGSND/UFOPA)

Assunto: Autorização para execução de projeto de pesquisa

Prezada Senhora,

Pelo instrumento, venho através deste, autorizar a Vossa Senhoria a execução do projeto de doutorado intitulado *"Qualidade da água e do ar em escolas de ensino Fundamental na região de Santarém e seus efeitos em saúde de crianças"* na escola Júlio Walfredo da Ponte no Anexo Maria do Carmo. O projeto está vinculado ao Programa de pós Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento (PPGSND) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) sob a responsabilidade da aluna de doutorado e docente da mesma Universidade Marina S Celere Meschede. A proposta de pesquisa implicara basicamente na coleta de amostras de água e de ar, bem como, a coleta de informações relacionadas à saúde dos escolares mediante a autorização dos responsáveis.

Cordialmente,

ANTONIO JUVENAL ARRUDA OLIVEIRA
Secretário Municipal de Educação
Decreto Nº004/2013

Rua Estrada de Rodagem, nº S/N, BAIRRO Centro, CEP: 68.129.000, Mojuí dos Campos, Estado do Pará. Telefones: (93) 3537-1361 E-mail: educacaoosemed318@gmail.com



PREFEITURA DE SANTARÉM

SECRETARIA DE SAÚDE DE SANTARÉM
TV. 07 DE SETEMBRO, 611 - CEP 68005-590 - BAIRRO SANTA CLARA - Santarém/PA

CARTA DE ACEITE

Em nome da Secretaria Municipal de Saúde declaro ter conhecimento do projeto de pesquisa intitulado **"EFEITOS EM SAUDE DE ESCOLARES DECORRENTE DA EXPOSIÇÃO A ÁGUA E AR NA REGIÃO DO OESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA"**, de autoria do acadêmica do Programa de Pós-graduação Doutorado Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, **Marina S Celere Meschede**, dando-lhe consentimento para realizar um levantamento de dados referentes a quantidade, data, sexo e idade de pacientes internados por adoecimento respiratório e de doenças diarreicas no Hospital Municipal nos anos de 2014 à 2016, dados esses que visam contribuir para a construção da problemática do referido projeto.

Necessário, porém, se faz que antes da publicação dos resultados o trabalho seja apresentado a esta Secretaria Municipal de Saúde com o escopo de analisar e discutir os resultados obtidos, sendo obrigatório citar na publicação o nome Instituição Universidade do Federal do Oeste do Pará - UFOPA e da Secretaria Municipal de Saúde, como locais de realização da pesquisa.

Santarém, 09 de fevereiro de 2017.

Enf.^ª *Simara Liberal*
Esp. em E.S.F. e Saúde Mental
COREN - PA: 158503

Simara Cristina Liberal Freitas
Divisão Técnica



Av. Pres. Vargas, N.º 1539 - Santa Clara - CEP 68005-110
 CNPJ 05.182.233/0001-76 Fone: 3523 - 2155 / Fax: 3523 2175
 Hmssemsa.stm@gmail.com

CARTA DE ACEITE INSTITUCIONAL

Em nome do Hospital Municipal de Santarém (HMS), declaro ter conhecimento do projeto de pesquisa intitulado “Efeitos em Saúde de Escolares decorrentes da exposição à água e ar na região do Oeste do Pará, Amazônia”, de autoria da pesquisadora Marina Smidt Celere Meschede, aluna do Programa de Pós-graduação “Doutorado Sociedade, Natureza e Desenvolvimento”, dando-lhe consentimento para execução do projeto de pesquisa para fins de produção da Tese de Doutorado. A coleta de dados consiste em consulta de banco de dados no Serviço de Arquivo Médico e Estatístico (SAME) do Hospital Municipal de Santarém (HMS), referente a um levantamento de dados de pacientes internados no HMS no período de Janeiro de 2014 a Dezembro de 2016, com diagnóstico de síndromes respiratórias e doenças diarreicas, que descreva variáveis como: sexo, idade, ocorrência mês a mês, esses dados visam contribuir para a construção do referencial teórico metodológico da pesquisa.

Necessário, porém se faz, que **antes** da apresentação e ou publicação dos resultados, **o trabalho final seja apresentado** a esta Instituição Hospitalar com o escopo de analisar e discutir os resultados obtidos, ficando em caráter obrigatório a citação da Universidade Federal do Oeste do Pará e do Hospital Municipal de Santarém, como locais de realização da pesquisa.

Santarém, 16 de fevereiro de 2017.

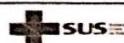
Nádia Martins

Enfermeira
 COREN-PA: 114801

Enf. Msc. Nádia Vicência do Nascimento Martins

Setor de Educação Continuada

(93) 99145 3053 – stm.martins@hotmail.com



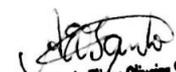


MUNICÍPIO DE MOJUÍ DOS CAMPOS
SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE
Rua Antonio Walfredo – nº 431 – Alto Alegre
CEP: 68.129-000 – Mojuí dos Campos – Estado do Pará
Telefone: (93) 99109-5003 – e-mail: semsa@mojuidoscampos.pa.gov.br

Carta de Aceite

Em nome da Secretaria Municipal de Saúde de Mojuí dos Campos autorizo a acadêmica do curso de Pós Graduação – Doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, **Marina S Celere Meschede**, da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), a realizar um levantamento de dados retroativos (entre 2014 a 2016), referente à morbidade e mortalidade por doenças diarreicas e respiratórias no município de Mojuí dos Campos.

Mojuí dos Campos, 20 de Janeiro de 2017.


Enf.ª Antonia Eliene Oliveira Santos
Coordenadora de Vigilância em Saúde
Portaria n.º 001/2017

ANEXO IV – BOLETINS ANALÍTICOS DE ÂNIONS POR CROMATOGRAFIA IONICA EM AMOSTRAS DE ÁGUA E MPA

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Geociências - Laboratório de Geoquímica Analítica

Resultados Analíticos

Interessado: Marina Smidt Celere Meschede - Universidade Federal do Oeste do Pará

Orientador: Prof. Bernardino Ribeiro de Figueiredo

Serviço executado: Determinação quantitativa de alguns ânions e cátions presentes nas amostras utilizando-se a técnica de cromatografia de íons, Dionex ICS 2500.

1. Resultados analíticos de MPA durante a coleta realizada estação seca – Escolas A e D (mg-L)

Amostra Particulado	Li ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	mg/L					
Filtro Branco escola D	nd	9,50	nd	2,10	0,22	1,24
Filtro Branco escola A	nd	9,59	nd	2,51	0,22	1,39
MPA fração Grossa escola A	nd	15,0	nd	0,71	1,04	5,35
MPA fração Fina escola A	nd	10,5	1,61	1,87	0,40	1,81
MPA fração Grossa escola D	nd	11,0	nd	0,84	0,84	4,37
MPA fração Fina escola D	nd	9,84	2,05	1,95	0,34	1,93
<i>LD</i>	<i>0,004</i>	<i>0,020</i>	<i>0,020</i>	<i>0,050</i>	<i>0,030</i>	<i>0,050</i>

LD = limite de detecção

nd= não detectado

2. Resultados analíticos de amostras de água consumo e MPA durante coleta realizada estação seca – Escolas A e D (mg-L)

Amostra	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	Br ⁻	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P
	mg/L						
Filtro Branco escola D	0,24	0,03	nd	0,04	nd	nd	2,13
Filtro Branco escola A	0,23	0,03	nd	0,04	nd	nd	2,11
MPA fração Grossa escola A	0,50	8,04	nd	1,50	nd	1,58	1,53
MPA fração Fina escola A	0,19	1,25	nd	3,47	nd	0,32	1,88
MPA fração Grossa escola D	0,20	4,33	nd	1,01	nd	1,31	1,58
MPA fração Fina escola D	0,23	0,82	nd	3,31	0,06	0,29	2,32
Água escola A - 2C	0,03	11,2	nd	2,26	nd	5,86	nd
Água escola A - 3B	0,02	11,1	nd	2,28	nd	5,78	nd
Água escola A - 4C	0,02	11,1	nd	2,31	nd	5,73	nd
Água escola A - 5B	0,02	11,2	nd	2,28	nd	5,84	nd
Água escola A - 6C	0,04	11,4	nd	2,24	nd	6,03	nd
Água escola A - 1B	0,04	11,4	nd	2,41	nd	6,07	nd
Água escola D - 2C	nd	2,09	nd	0,26	nd	0,09	nd
Água escola D- 3B	0,02	2,07	nd	0,27	nd	0,12	nd
Água escola D- 4C	0,03	2,07	nd	0,26	nd	0,11	nd
Água escola D-5B	0,01	2,06	nd	0,27	nd	0,11	nd
Água escola D- 6C	nd	2,05	nd	0,26	nd	0,11	nd
Água escola D - 1B	0,02	2,06	nd	0,28	nd	0,11	nd
LD	0,001	0,015	0,005	0,010	0,005	0,003	0,015

LD = limite de detecção

nd= não detectado

3. Resultados analíticos de amostras de água consumo durante coleta realizada estação seca– Escolas B e C (mg-L)

Amostra (mg/L)	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ -P	PO ₄ ³⁻
Água escola B-09	nd	1,76	nd	0,04	0,12	nd	0,82	3,63	0,04	0,12
Água escola B-10	nd	1,71	nd	0,13	0,39	nd	0,19	0,84	nd	nd
Água escola B-11	nd	2,22	nd	0,15	0,45	nd	0,63	2,79	nd	nd
Água escola C-09	nd	1,38	nd	0,03	0,09	nd	0,06	0,27	nd	nd
Água escola C-10	nd	1,68	nd	0,06	0,18	nd	0,09	0,40	nd	nd
Água escola C-11	0,04	9,23	nd	0,14	0,42	nd	5,61	24,83	nd	nd
Água escola poço 12	0,04	7,89	nd	0,03	0,09	nd	7,59	33,60	0,05	0,15
LD	0,001	0,015	0,005	0,010		0,005	0,003		0,015	

LD = limite de detecção

nd= não detectado

UNICAMP, Instituto de Geociências C.P. 6152, Campinas, SP, Brasil, CEP 13083-970
 Tel 19 35214575 Fax 19 3289 1097 e-mail: jacinta@ige.unicamp.br/

Universidade Estadual de Campinas
 Instituto de Geociências
 Laboratório de Geoquímica Analítica

Resultados Analíticos

Interessado: Marina Smidt Celere Meschede - Universidade Federal do Oeste do Pará

Orientador: Prof. Bernardino Ribeiro de Figueiredo

Serviço executado: Determinação quantitativa de alguns ânions presentes nas amostras utilizando-se a técnica de cromatografia de íons, Dionex ICS 2500.

4. Resultados analíticos de amostras de água consumo durante coleta realizada estação chuvosa – Escolas A e D (mg-L)

Amostra	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻ -S	Br ⁻	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P
	mg/L						
Água escola A -1B	0,02	12,5	nd	2,54	nd	7,11	nd
Água escola A -1-C	0,02	13,8	nd	2,79	nd	7,81	nd
Água escola A 2-B	0,02	14,0	nd	2,94	nd	8,07	nd
Água escola A-2-C	0,02	14,6	nd	3,04	nd	8,37	nd
Água escola A -2-C duplicata leitura	0,02	15,1	nd	3,15	nd	8,70	nd
Água escola A-3-B	0,03	14,1	nd	2,94	nd	8,14	nd
Água escola A-3-C	0,03	15,2	nd	3,19	nd	8,78	nd
Água escola D-1-B	0,02	2,30	nd	0,23	nd	0,12	nd
Água escola D-1-C	0,02	2,31	nd	0,22	nd	0,12	nd
Água escola D-2-B	nd	2,30	nd	0,22	nd	0,12	nd
Água escola D -2-C	nd	2,32	nd	0,22	nd	0,13	nd
Água escola D 3-B	0,04	2,36	nd	0,22	nd	0,17	nd
Água escola D -3-C	nd	2,35	nd	0,21	nd	0,14	nd
LD	0,001	0,015	0,005	0,010	0,005	0,003	0,015

LD = limite de detecção

nd= não detectado

5. Resultados analíticos de amostras de água consumo durante coleta realizada estação chuvosa – Escolas B e C (mg-L)

Amostra	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻ - N	SO ₄ ²⁻ - -S	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻ - N	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻ - -P	PO ₄ ³⁻	
			mg/L								
Água escola C-01	0,03	7,46	nd	0,15	0,45	nd	4,39	19,43	0,03	0,09	
Água escola C -02	0,05	12,6	nd	0,17	0,51	nd	7,43	32,89	nd	nd	
Água escola C -03	0,03	7,89	nd	0,16	0,48	nd	4,36	19,30	nd	nd	
Água escola C 12 (nova amostra abril/17)	0,04	9,17	nd	0,06	0,18	nd	9,16	40,55	0,04	0,12	
Água escola B -01	nd	4,41	nd	0,67	2,01	nd	0,79	3,50	nd	nd	
Água escola B -02	0,03	1,81	nd	0,10	0,30	nd	0,18	0,80	nd	nd	
Água escola B 03	nd	1,50	nd	0,05	0,15	nd	0,04	0,18	nd	nd	
Água poço (repetida análise da mesma amostra março/17)	0,02	9,04	nd	0,15	0,45	nd	5,62	24,88	nd	nd	
LD	0,001	0,015	0,005	0,010		0,005	0,003		0,015		

LD = limite de detecção

nd= não detectado

Analista - Supervisora do Laboratório: Maria Aparecida Vendemiatto

Responsável pelo Laboratório: Prof^a Jacinta Enzweiler

Arquivo: CI Jessica-Jorge-Berna maio2017.doc

ANEXO V – BOLETINS ANALÍTICOS DE ELEMENTOS TRAÇOS EM AMOSTRAS DE ÁGUA E MPA POR ICP-MS

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia e Recursos Naturais
Laboratório de Geologia Isotópica

Boletim de Resultados Analíticos

Interessado: Professor Bernardino Ribeiro de Figueiredo

Serviço executado: Determinação da composição inorgânica elementar de amostras de águas e material particulado atmosférico coletadas em membrana de quartzo (extração com HNO₃ 1%, 5 horas de agitação, temperatura ambiente).

Materiais e métodos

Todas soluções foram preparadas com água ultra-pura (18,2 MΩ.cm), obtida por sistema Milli-Q. O ácido nítrico (HNO₃) foi purificado por sub-ebulição.

O limite de detecção (LD) foi determinado como sendo a média (x) mais 3 desvios-padrão (s) de dez medidas do branco (LD= x +3s).

As medições foram realizadas em ICP-MS XseriesII (Thermo) equipado com CCT (Collision Cell Technology).

Otimização do instrumento, isótopos medidos e condições

Antes das medidas o instrumento foi ajustado, conforme recomendado pelo fabricante.

Os isótopos (⁷Li, ⁹Be, ¹¹B, ²³Na, ²⁵Mg, ²⁷Al, ⁷¹Ga, ⁸⁵Rb, ⁸⁸Sr, ⁸⁹Y, ⁹⁰Zr, ⁹³Nb, ⁹⁵Mo, ¹⁰⁷Ag, ¹¹⁴Cd, ¹²¹Sb, ¹³³Cs, ¹³⁷Ba, ¹³⁹La, ¹⁴⁰Ce, ¹⁴¹Pr, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁷Sm, ¹⁵¹Eu, ¹⁵⁷Gd, ¹⁵⁹Tb, ¹⁶³Dy, ¹⁶⁵Ho, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁹Tm, ¹⁷²Yb, ¹⁷⁵Lu, ¹⁸⁰Hf, ¹⁸¹Ta, ¹⁸²W, ²⁰⁵Tl, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb, ²⁰⁹Bi, ²³²Th, ²³⁸U) foram medidos na configuração padrão. Os isótopos (³⁹K, ⁴³Ca, ⁴⁵Sc, ⁴⁹Ti, ⁵¹V, ⁵²Cr, ⁵⁶Fe, ⁵⁵Mn, ⁵⁹Co, ⁶⁰Ni, ⁶³Cu, ⁶⁶Zn, ⁷⁴Ge, ⁷⁵As, ⁷⁸Se, ¹¹⁸Sn) foram medidos empregando-se a CCT.

Calibração do instrumento

A calibração do instrumento foi efetuada com soluções multielementares preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares de 100 mg/L (Accustandards).

Controle de qualidade

O controle de qualidade das medidas foi efetuada pela análise do material de referência SLRS-5 (River water reference material for trace metals).

Analista: Margareth Sugano Navarro

Responsável pelo laboratório: Professora Jacinta Enzweiler

1. Resultados analíticos de amostras de água consumo durante coleta realizada estação seca – Escolas A e D (ng-mL)

	Escola	SLRS-5	Incerteza	Limites de Detecção											
	D- 5B	D- 6C	D- 4C	D- 3B	D-2C	D-1B	D- 6C	A- 3B	A- 4C	A- 5B	A -2C	A- 1B			
Li	0,38	0,37	0,38	0,39	0,38	0,39	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,47		0,01
Be	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<LD		0,01
B	<LD	1,90	<LD	<LD	<LD	<LD	9,37	8,43	8,79	8,40	8,27	7,53	6,14		1,2
Na	832	842	870	883	844	847	10440	10384	10370	10359	10055	10448	4908	100	2
Mg	116	115	116	119	115	117	592	591	590	585	591	612	2450	160	0,2
Al	40	40	37	38	41	40	435	414	422	428	439	436	44,8	5	0,4
K	138	141	152	144	142	145	2161	2139	2161	2171	2214	2217	853	36	47
Ca	139	124	153	123	121	125	4201	4089	4301	4317	4387	4332	10568	400	9,3
Ti	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,37	0,45	0,57	0,40	0,44	0,50	2,31		0,08
V	<LD	0,004	0,005	0,004	0,008	0,006	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,321	0,033	0,003
Cr	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,218	0,023	0,01
Fe	<LD	86,5	5,8	29											
Mn	4,01	4,24	4,20	4,28	4,18	4,24	11,01	10,52	10,88	10,85	10,95	10,69	4,27	0,18	0,03
Co	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06		0,006
Ni	<LD	<LD	0,23	0,04	<LD	<LD	0,08	0,08	0,12	0,07	0,08	0,16	0,370	0,064	0,04
Cu	3,38	2,82	27,19	4,21	15,40	3,33	4,82	5,12	6,50	5,81	6,58	7,69	17,4	1,3	0,05
Zn	7,95	7,86	23,33	12,10	8,72	6,96	10,13	10,17	10,19	11,03	9,68	16,89	0,783	0,095	0,10
Ga	0,011	0,012	0,010	0,010	0,014	0,011	0,039	0,039	0,037	0,045	0,046	0,041	0,01		0,001
Ge	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,01		0,001
As	<LD	0,01	0,01	0,02	<LD	0,01	0,04	0,02	<LD	0,02	0,06	0,05	0,393	0,039	0,005
Se	<LD		0,7												
Rb	0,76	0,76	0,80	0,81	0,81	0,81	5,33	4,62	4,41	4,27	4,28	4,49	2,06		0,01
Sr	1,66	1,69	1,66	1,68	1,67	1,67	9,31	9,36	9,30	9,21	9,33	9,82	53,25	1,3	0,01
Y	1,08	1,13	1,01	1,01	1,11	1,11	2,53	2,37	2,37	2,37	2,39	2,49	0,13		0,005
Zr	<LD		0,004												
Nb	<LD		0,008												
Mo	<LD	0,21	0,04	0,007											
Ag	<LD	<LD	0,002	<LD	<LD	<LD	<LD	0,004	<LD	0,003	<LD	<LD	<LD		0,001
Cd	<LD	<LD	0,005	0,004	0,007	0,006	0,009	<LD	0,011	0,004	0,013	<LD	0,009	0,0014	0,004
Sn	<LD	2,86	<LD	2,47	<LD	10,80	<LD		0,07						
Sb	0,005	0,002	0,017	0,005	0,005	0,004	0,017	0,023	0,020	0,020	0,023	0,029	0,30		0,001
Te	<LD	<LD	0,001	<LD	0,001	0,002	0,00		0,001						
Cs	0,032	0,033	0,031	0,031	0,030	0,031	0,110	0,115	0,108	0,110	0,108	0,112	0,00		0,0005

Continuação ...

Ba	18,53	19,43	19,12	18,97	19,38	19,26	7,47	6,35	7,03	6,11	6,76	6,30	14,11	0,5	0,009
La	0,60	0,62	0,54	0,55	0,61	0,62	1,55	1,46	1,46	1,47	1,44	1,50	0,215		0,006
Ce	1,77	1,84	1,63	1,60	1,82	1,84	4,91	4,61	4,63	4,65	4,58	4,78	0,262		0,007
Pr	0,26	0,27	0,24	0,23	0,27	0,27	0,70	0,67	0,67	0,67	0,66	0,68	0,053		0,001
Nd	1,19	1,22	1,05	1,07	1,21	1,24	3,39	3,24	3,25	3,26	3,27	3,38	0,198		0,005
Sm	0,25	0,26	0,22	0,23	0,27	0,26	0,81	0,75	0,76	0,76	0,77	0,80	0,038		0,001
Eu	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16	0,15	0,009		0,0005
Gd	0,24	0,25	0,22	0,22	0,25	0,25	0,70	0,68	0,67	0,65	0,66	0,69	0,033		0,001
Tb	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,006		0,0003
Dy	0,22	0,21	0,19	0,19	0,21	0,21	0,53	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,022		0,001
Ho	0,040	0,041	0,036	0,036	0,039	0,040	0,088	0,085	0,085	0,085	0,086	0,088	0,006		0,0002
Er	0,114	0,117	0,109	0,103	0,110	0,112	0,246	0,230	0,231	0,229	0,239	0,245	0,014		0,0005
Tm	0,015	0,016	0,014	0,014	0,015	0,014	0,031	0,030	0,029	0,029	0,029	0,031	0,003		0,0002
Yb	0,093	0,092	0,083	0,082	0,095	0,095	0,188	0,180	0,182	0,177	0,175	0,189	0,011		0,0003
Lu	0,011	0,013	0,011	0,011	0,012	0,011	0,023	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,003		0,0002
Hf	0,001	<LD	<LD	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001		0,001
Ta	<LD		0,005												
W	<LD		0,001												
Tl	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,016	0,017	0,016	0,017	0,016	0,016	0,0050		0,0003
Pb	0,20	0,17	1,08	0,35	0,26	0,21	0,40	3,83	0,49	32,75	0,50	11,65	0,075	0,006	0,002
Bi	<LD		0,001												
Th	<LD	0,01		0,005											
U	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,088	0,006	0,002

	Filtro Branco – Escola A	Filtro Branco – Escola D	MPA fração fina Escola D	MPA fração fina Escola A	MPA fração grossa Escola D	MPA fração grossa Escola A	SLRS-5	<i>Incerteza</i>	Limites de Detecção
Li	0,40	0,37	0,26	0,42	0,34	0,52	0,47		0,01
Be	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	<LD		0,01
B	87,66	80,92	56,76	57,30	31,12	36,61	6,14		1,2
Na	8171	7467	7039	10030	9297	10518	4908	100	2
Mg	238	232	384	424	1295	1470	2450	160	0,2
Al	143	143	226	217	792	1181	44,8	5	0,4
K	<LD	<LD	1745	1549	739	626	853	36	47
Ca	2130	2208	1854	2522	6772	10212	10568	400	9,3
Ti	2,56	2,48	3,16	4,19	9,75	21,35	2,31		0,08
V	0,05	0,04	1,88	2,21	1,90	3,82	0,321	0,033	0,003
Cr	10,90	10,64	10,66	11,90	9,81	11,80	0,218	0,023	0,01
Fe	46,87	35,62	64,84	78,82	381,71	822,80	86,5	5,8	29
Mn	0,82	0,75	2,64	3,41	25,89	23,71	4,27	0,18	0,03
Co	0,05	0,06	0,08	0,09	0,22	0,31	0,06		0,006
Ni	1,25	1,74	2,05	4,14	1,76	2,23	0,370	0,064	0,04
Cu	1,53	1,88	2,49	2,84	4,36	7,55	17,4	1,3	0,05
Zn	42,54	43,68	66,04	91,56	73,31	93,64	0,783	0,095	0,10
Ga	0,05	0,04	0,07	0,07	0,17	0,33	0,01		0,001
Ge	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,01		0,001
As	0,09	0,10	1,46	0,63	0,48	0,80	0,393	0,039	0,005
Se	<LD	<LD	1,42	1,20	<LD	0,74	<LD		0,7
Rb	0,20	0,15	5,38	4,93	1,90	1,81	2,06		0,01
Sr	7,50	7,13	6,99	9,28	22,01	24,82	53,25	1,3	0,01
Y	0,12	0,08	0,10	0,11	0,39	1,15	0,13		0,005
Zr	2,98	3,07	2,61	3,63	1,72	1,48	<LD		0,004
Nb	0,08	0,09	0,13	0,15	0,11	0,11	<LD		0,008
Mo	1,06	1,24	1,00	1,22	1,11	1,14	0,21	0,04	0,007
Ag	0,023	0,018	0,014	0,017	0,012	0,011	<LD		0,001
Cd	0,015	0,014	0,406	0,406	0,189	0,162	0,009	0,0014	0,004
Sn	0,16	0,15	0,27	0,68	0,17	0,31	<LD		0,07
Sb	0,076	0,062	1,277	0,775	0,200	0,203	0,30		0,001
Te	<LD	<LD	0,012	0,012	0,002	0,003	0,00		0,001
Cs	0,003	0,003	0,128	0,055	0,047	0,066	0,00		0,0005
Ba	36,16	37,12	34,36	39,45	33,15	47,06	14,11	0,5	0,009
La	0,22	0,12	0,17	0,18	0,76	2,11	0,215		0,006

Ce	0,36	0,13	0,23	0,28	1,48	4,78	0,262		0,007
Pr	0,04	0,02	0,02	0,03	0,16	0,57	0,053		0,001
Nd	0,17	0,06	0,09	0,12	0,61	2,25	0,198		0,005
Sm	0,04	0,02	0,03	0,03	0,12	0,39	0,038		0,001
Eu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,009		0,0005
Gd	0,03	0,02	0,02	0,03	0,11	0,34	0,033		0,001
Tb	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,006		0,0003
Dy	0,02	0,01	0,02	0,02	0,08	0,25	0,022		0,001
Ho	0,004	0,002	0,003	0,003	0,015	0,044	0,006		0,0002
Er	0,010	0,006	0,009	0,011	0,042	0,123	0,014		0,0005
Tm	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,016	0,003		0,0002
Yb	0,008	0,006	0,009	0,010	0,037	0,105	0,011		0,0003
Lu	0,002	0,001	0,001	0,002	0,005	0,014	0,003		0,0002
Hf	0,041	0,041	0,044	0,051	0,037	0,031	0,001		0,001
Ta	<LD		0,005						
W	0,163	0,206	0,130	0,155	0,170	0,163	<LD		0,001
Tl	0,015	0,020	0,158	0,096	0,040	0,040	0,0050		0,0003
Pb	4,06	3,97	11,86	26,44	7,72	10,25	0,075	0,006	0,002
Bi	0,06	0,06	0,14	0,15	0,09	0,15	<LD		0,001
Th	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,08	0,01		0,005
U	0,06	0,06	0,04	0,07	0,13	0,27	0,088	0,006	0,002

	Escola A- 1B	Escola A- 1C	Escola A- 2B	Escola A-2C	Escola A- 3B	Escola A- 3C	Escola D- 1B	Escola D- 1C	Escola D – 2B	Escola D- 2C	Escola D- 3B	Escola D- 3C	SLRS -5 Obtido	<i>Incerteza</i>	Limites de Deteccção
Li	0,25	0,25	0,23	0,24	0,23	0,23	0,42	0,38	0,40	0,42	0,40	0,38	0,42		0,01
Be	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,008		0,007
B	6,55	6,71	6,90	7,02	6,49	7,39	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	4,64		1,2
Na	12649	12694	13218	13295	12851	13817	981	938	948	940	945	916	5165	100	2,0
Mg	744	745	779	791	756	811	144	140	134	140	142	138	2573	160	0,2
Al	597	586	632	642	623	672	42	40	37	41	41	54	44,4	5	0,4
Si	4152	4277	4213	4406	3923	4510	5758	5760	5450	5728	5725	5749	1971		913
K	2621	2585	2585	2734	2600	2840	185	164	166	163	166	162	855	36	47
Ca	5305	5322	5768	5915	5631	6109	178	151	146	153	157	153	10027	400	9,3
Sc	1,35	1,52	1,59	1,63	1,49	1,69	0,64	0,59	0,54	0,56	0,53	0,56	<LD		0,4
Ti	0,39	0,39	0,41	0,44	0,41	0,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,25	2,24		0,08
V	0,35	0,37	0,35	0,39	0,35	0,39	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,40	0,033	0,003
Cr	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,07	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,23	0,023	0,01
Fe	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	92,0	5,8	29
Mn	11,9	11,4	10,9	11,7	10,5	11,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4,6	4,4	4,29	0,18	0,03
Co	0,08	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10		0,006
Ni	0,29	0,29	0,32	0,30	0,30	0,29	0,17	0,17	0,15	0,16	0,14	0,16	0,57	0,064	0,04
Cu	6,44	6,87	7,85	6,99	7,16	6,02	4,27	14,8	4,39	12,97	4,46	14,8	17,7	1,3	0,05
Zn	12,4	14,8	10,7	12,0	10,7	10,9	11,8	9,2	9,6	11,3	7,2	7,9	0,464	0,095	0,10
Ga	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,012		0,001
Ge	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,004		0,001
As	0,09	0,05	0,07	0,05	0,08	0,10	<LD	<LD	0,05	<LD	0,04	0,04	0,45	0,039	0,005
Se	<LD	<LD	<LD	0,73	<LD	0,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,7
Rb	4,19	3,93	4,10	4,14	3,98	4,28	0,42	0,41	0,46	0,50	0,52	0,53	2,23		0,01
Sr	11,4	11,4	12,2	12,3	12,0	12,8	1,77	1,73	1,67	1,76	1,75	1,73	52,9	1,3	0,009
Y	3,33	3,31	3,52	3,58	3,50	3,77	1,08	1,15	1,05	1,19	1,20	1,18	0,13		0,005
Zr	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,004
Nb	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,008
Mo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,20	0,04	0,007
Ag	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,001
Cd	0,008	0,012	0,015	0,015	0,013	0,015	0,005	0,005	0,005	0,006	0,009	0,003	0,007	0,0014	0,001
Sn	0,22	<LD	0,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,07
Sb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,32		0,001
Cs	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,004		0,0005
Ba	6,43	6,92	6,46	6,97	6,15	7,11	19,5	20,2	17,9	19,6	19,1	19,6	13,8	0,5	0,009

La	1,85	1,82	1,83	1,87	1,76	1,90	0,60	0,61	0,56	0,64	0,65	0,64	0,207	0,006	
Ce	4,50	4,43	4,48	4,58	4,33	4,68	1,40	1,44	1,26	1,47	1,48	1,45	0,265	0,007	
Pr	0,83	0,83	0,84	0,86	0,81	0,87	0,27	0,27	0,24	0,28	0,27	0,28	0,049	0,001	
Nd	4,18	4,23	4,31	4,40	4,21	4,55	1,24	1,28	1,11	1,30	1,32	1,31	0,192	0,005	
Sm	0,99	1,00	1,05	1,04	0,98	1,09	0,27	0,27	0,23	0,27	0,29	0,28	0,034	0,001	
Eu	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,006	0,0005	
Gd	0,88	0,87	0,92	0,94	0,89	0,97	0,24	0,26	0,23	0,26	0,26	0,25	0,027	0,001	
Tb	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,15	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,004	0,0003	
Dy	0,69	0,69	0,70	0,74	0,72	0,77	0,23	0,23	0,20	0,24	0,23	0,24	0,019	0,0010	
Ho	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,004	0,0002	
Er	0,32	0,32	0,34	0,35	0,34	0,37	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12	0,011	0,0005	
Tm	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,0002	
Yb	0,23	0,24	0,25	0,26	0,25	0,28	0,10	0,10	0,08	0,10	0,11	0,10	0,010	0,0003	
Lu	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	0,0002	
Hf	<LD	0,0005													
Ta	<LD	0,005													
W	<LD	0,001													
Tl	0,017	0,017	0,017	0,017	0,016	0,016	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,007	0,0003	
Pb	0,87	0,55	0,91	0,47	1,17	0,47	0,29	0,30	0,30	0,29	0,30	0,34	0,073	0,006	0,002
Bi	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,00	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,002	0,0007	0,0007
Th	<LD	0,007	0,005	0,005											
U	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,086	0,006	0,002

4. Resultados analíticos de amostras de MPA durante coleta realizada estação chuvosa – Escolas A e D (ng-mL)

	MPA fração fina Escola D	MPA fração fina Escola A	MPA fração grossa Escola D	MPA fração grossa Escola A	Filtro Branco Escola D	Filtro Branco escola A	SLRS-5 Obtido	Incerteza	Limites de Detecção
Li	0,42	0,44	0,44	0,54	0,47	0,53	0,45		0,01
Be	0,01	0,01	0,02	0,03	<LD	<LD	<LD		0,007
B	42,6	44,6	40,0	32,3	99,2	111,5	5,46		1,2
Na	10489	10422	8438	7236	10627	11364	4860	100	2,0
Mg	327	313	600	1236	286	306	2388	160	0,2
Al	459	450	839	1171	308	314	42,6	5	0,4
Si	1950	2041	1724	1888	1182	1285	1887		913
K	234	365	599	393	72	78	871	36	47
Ca	3053	2899	6283	9808	2750	2964	10099	400	9
Sc	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,4
Ti	3,56	4,02	7,85	12,2	2,92	3,22	2,34		0,08
V	1,25	3,52	1,42	2,35	0,09	0,09	0,38	0,033	0,003
Cr	12,7	13,2	13,4	13,7	13,1	14,0	<LD	0,023	0,01
Fe	84,8	113	290	653	63,3	76,0	92,0	5,8	29
Mn	3,29	5,23	10,0	17,3	1,46	1,61	4,33	0,18	0,03
Co	0,07	0,10	0,16	0,28	0,05	0,06	0,09		0,006
Ni	1,78	2,81	1,88	2,29	1,37	1,47	0,38	0,064	0,04
Cu	2,71	3,44	4,71	7,61	2,48	1,73	18,3	1,3	0,05
Zn	55,8	55,3	57,7	92,9	76,9	61,2	0,24	0,095	0,10
Ga	0,13	0,15	0,20	0,31	0,09	0,08	0,012		0,001
Ge	0,02	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	0,003		0,001
As	0,44	0,96	0,25	0,76	0,08	0,07	0,48	0,039	0,005
Se	1,19	1,61	0,77	0,87	<LD	<LD	<LD		0,7
Rb	0,35	0,76	1,34	1,07	0,25	0,21	2,68		0,01
Sr	10,7	10,2	17,2	23,0	9,4	10,0	54,1	1,3	0,009
Y	0,12	0,14	0,26	0,77	0,09	0,10	0,13		0,005
Zr	4,60	5,05	0,89	1,74	4,31	4,86	0,03		0,004
Nb	0,12	0,13	0,10	0,12	0,17	0,18	<LD		0,008
Mo	1,41	1,36	1,17	1,38	1,30	1,31	0,18	0,04	0,007
Ag	0,14	0,03	<LD	<LD	0,01	0,02	<LD		0,001
Cd	0,16	0,36	0,25	0,08	0,02	0,03	0,007	0,0014	0,001
Sn	0,33	0,37	0,19	0,33	0,17	0,20	<LD		0,07
Sb	0,44	0,89	0,21	0,28	0,13	0,14	0,31		0,001

Cs	0,019	0,030	0,052	0,046	0,003	0,004	0,004		0,0005
Ba	44,1	42,5	39,1	48,0	45,5	46,7	14,3	0,5	0,009
La	0,300	0,312	0,488	1,294	0,177	0,157	0,231		0,006
Ce	0,229	0,281	0,691	2,105	0,103	0,100	0,210		0,007
Pr	0,030	0,037	0,077	0,290	0,016	0,015	0,053		0,001
Nd	0,131	0,169	0,343	1,258	0,076	0,070	0,213		0,005
Sm	0,034	0,040	0,067	0,225	0,028	0,022	0,036		0,001
Eu	0,003	0,006	0,012	0,040	0,003	0,003	0,010		0,0005
Gd	0,027	0,033	0,056	0,193	0,019	0,018	0,029		0,0014
Tb	0,004	0,005	0,009	0,029	0,003	0,003	0,007		0,0003
Dy	0,025	0,027	0,049	0,133	0,017	0,018	0,024		0,0010
Ho	0,004	0,005	0,009	0,026	0,003	0,003	0,006		0,0002
Er	0,011	0,012	0,024	0,071	0,008	0,008	0,013		0,0005
Tm	0,001	0,001	0,003	0,008	0,001	0,001	0,004		0,0002
Yb	0,010	0,010	0,020	0,061	0,009	0,007	0,013		0,0003
Lu	0,002	0,002	0,003	0,008	0,001	0,001	0,004		0,0002
Hf	0,057	0,069	0,012	0,020	0,055	0,063	0,002		0,0005
Ta	<LD		0,005						
W	0,17	0,09	0,17	0,17	0,13	0,24	<LD		0,0015
Tl	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,06	0,006		0,0003
Pb	9,70	16,6	9,51	9,03	2,92	4,20	0,074	0,006	0,002
Bi	0,11	0,13	0,13	0,23	0,06	0,06	0,001		0,0007
Th	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,007		0,005
U	0,07	0,07	0,10	0,17	0,06	0,06	0,090	0,006	0,002

5. Resultados analíticos de amostras de água de consumo durante coleta realizada nas estações seca e chuvosa – Escolas B e C (ng-mL)

	Seca Escola B 9	Seca Escola B 10	Seca Escola B 11	Seca Escola C 9	Seca Escola C 10	Seca Escola C 11	Chuvosa Escola B 1	Chuvosa Escola B 2	Chuvosa Escola B 3	Chuvosa Escola C 1	Chuvosa Escola C 2	Chuvosa Escola C 3	SLRS-5 Obtido	<i>Incerteza</i>	Limites de Detecção
Li	0,99	1,09	1,03	1,28	1,27	0,37	0,97	1,04	1,08	0,34	0,41	0,38	0,44		0,01
Be	0,077	0,061	0,089	0,096	0,107	0,083	0,062	0,078	0,098	0,077	0,076	0,053	<LD	0,0022	0,007
B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	2,84	<LD	1,70	2,72	2,67	3,88	3,74	5,78		1,2
Na	986	859	1832	972	970	9257	3456	905	921	6824	11763	6424	4701	220	2,0
Mg	157	152	207	679	469	545	289	153	165	375	561	376	2383	58	0,2
Al	59,3	32,1	184	88,2	70,9	1371	82,8	41,7	35,9	868	1353	916	46,3	2,2	0,4
Si	10533	11587	12318	12445	12590	10589	13553	13570	14719	11188	10981	11417	1975		913
K	1349	1333	1476	558	530	1778	1756	1378	1458	1190	1977	1342	881	54	47
Ca	158	162	383	1318	685	1691	613	163	237	1223	2240	1275	9867	200	9
Sc	10,7	14,5	16,1	18,3	19,7	20,6	22,0	21,3	24,2	23,4	21,9	23,4	<LD		0,4
Ti	0,36	0,42	0,26	0,33	0,36	0,54	0,63	0,38	0,51	0,41	0,39	0,42	2,74		0,08
V	0,09	0,05	0,05	0,04	0,03	0,13	0,08	0,03	0,03	0,09	0,14	0,08	0,33	0,006	0,003
Cr	0,07	0,04	0,06	0,04	0,04	0,36	0,07	0,05	0,08	0,12	0,12	0,10	0,23	0,012	0,01
Mn	5,32	5,00	6,48	6,44	6,26	11,26	8,06	5,14	5,86	8,45	11,6	8,16	3,95	0,1	0,03
Fe	11,5	6,27	7,40	8,07	12,0	8,95	4,71	4,13	6,39	6,97	2,50	3,13	95,3	3,6	1,6
Co	0,31	0,31	0,33	0,56	0,57	0,13	0,36	0,31	0,34	0,12	0,13	0,08	0,06	0,012	0,006
Ni	1,11	0,37	0,40	0,40	0,38	0,37	2,07	0,93	0,50	0,30	0,30	0,22	0,50	0,022	0,04
Cu	58,1	24,6	13,9	1,89	1,50	2,28	137	41,4	23,8	10,1	2,74	2,11	17,1	1,8	0,05
Zn	93,7	18,4	39,6	5,71	3,21	4,19	222	65,4	42,6	4,14	3,79	3,30	0,87	0,12	0,10
Ga	0,004	0,004	0,007	0,010	0,009	0,296	0,008	0,004	0,008	0,205	0,349	0,246	0,009		0,001
Ge	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,43	0,07	0,05	0,06	0,27	0,45	0,28	0,004		0,001
As	0,02	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,01	<LD	0,02	0,05	0,21	0,06	0,42	0,08	0,005
Se	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1,25	<LD	<LD	<LD	0,75	1,44	0,90	<LD		0,7
Rb	4,74	4,93	4,85	3,02	2,99	2,09	5,06	4,87	5,25	1,56	2,34	1,83	1,19		0,01
Sr	2,50	2,45	3,09	3,29	2,78	7,15	4,06	2,43	2,64	4,99	8,18	5,26	51,4	0,32	0,009
Y	0,66	0,83	1,48	2,97	2,60	38,34	1,84	0,68	0,95	23,3	40,1	25,6	0,11		0,005
Zr	<LD	<LD	<LD	0,006	<LD	0,006	<LD	<LD	<LD	0,006	0,008	0,008	0,04		0,004
Nb	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD		0,008
Mo	0,005	<LD	<LD	<LD	<LD	0,008	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,20	0,018	0,004
Ag	11,0	2,34	1,65	0,05	0,02	<LD	13,1	3,21	14,9	<LD	<LD	<LD	<LD		0,001
Cd	0,023	0,014	0,011	0,004	<LD	0,016	0,031	0,015	0,017	0,047	0,025	0,016	0,006	0,0014	0,004

Continuação...

Sn	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,15	<LD	<LD	<LD	2,56	0,37	0,66	<LD		0,07
Sb	0,013	0,002	0,032	0,002	<LD	0,006	0,009	0,004	0,002	0,010	0,004	0,004	0,298	0,0058	0,001
Cs	0,231	0,234	0,233	0,168	0,167	0,097	0,238	0,226	0,237	0,072	0,094	0,075	0,004		0,0005
Ba	31,8	33,4	36,2	26,0	24,6	13,6	39,7	32,7	33,8	9,88	13,7	9,20	13,8	0,48	0,009
La	0,156	0,054	0,884	0,232	0,137	73,3	0,785	0,093	0,055	44,5	81,7	53,4	0,194		0,006
Ce	0,453	0,182	2,274	0,869	0,542	169	1,763	0,264	0,185	103	182	118	0,235		0,007
Pr	0,057	0,029	0,257	0,176	0,124	19,8	0,195	0,036	0,032	12,0	22,4	14,5	0,043		0,001
Nd	0,262	0,203	1,162	1,256	0,956	78,2	0,942	0,209	0,228	47,9	89,1	57,6	0,181		0,005
S	0,082	0,087	0,291	0,442	0,359	13,7	0,250	0,060	0,099	8,3	15,6	10,1	0,030		0,001
m															
Eu	0,018	0,023	0,064	0,111	0,085	2,43	0,063	0,016	0,027	1,49	2,68	1,76	0,004		0,0005
Gd	0,105	0,126	0,308	0,496	0,436	9,83	0,319	0,089	0,151	5,94	10,60	6,89	0,023		0,001
Tb	0,017	0,024	0,050	0,085	0,072	1,47	0,053	0,016	0,024	0,90	1,58	1,01	0,003		0,0003
Dy	0,103	0,132	0,280	0,499	0,426	7,57	0,293	0,095	0,163	4,65	8,07	5,18	0,016		0,001
Ho	0,020	0,026	0,051	0,096	0,080	1,36	0,057	0,018	0,029	0,83	1,44	0,92	0,003		0,0002
Er	0,056	0,067	0,136	0,265	0,224	3,85	0,153	0,055	0,078	2,34	4,04	2,60	0,009		0,0005
T	0,007	0,009	0,018	0,033	0,028	0,51	0,018	0,007	0,010	0,31	0,53	0,35	0,001		0,0002
m															
Yb	0,041	0,051	0,102	0,190	0,156	3,06	0,106	0,037	0,053	1,88	3,22	2,07	0,008		0,0003
Lu	0,005	0,007	0,014	0,026	0,022	0,42	0,014	0,005	0,008	0,26	0,45	0,29	0,001		0,0002
Hf	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,033	0,002	<LD	0,001	0,018	0,032	0,021	0,002		0,001
Ta	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,024	<LD	<LD	<LD	0,014	0,025	0,015	<LD		0,005
W	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,011	<LD	<LD	<LD	0,006	0,010	0,006	0,003		0,001
Tl	0,033	0,032	0,037	0,023	0,022	0,017	0,031	0,032	0,035	0,012	0,020	0,014	0,004		0,0003
Pb	5,160	1,697	1,881	0,417	0,234	2,272	9,593	5,043	1,801	9,691	3,279	5,035	0,075	0,026	0,002
Bi	<LD	0,001		0,001											
Th	<LD	0,013		0,005											
U	0,427	0,526	0,558	0,745	0,884	0,268	0,288	0,227	0,436	0,207	0,198	0,201	0,084	0,0034	0,002

