



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE – PPGCS**

GIOVANNI PAULO VENTURA COSTA

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA À POPULAÇÃO DE
MACAPÁ PELO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO**

MACAPÁ/AP
2018

GIOVANNI PAULO VENTURA COSTA

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA À POPULAÇÃO DE
MACAPÁ PELO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, na área de concentração Ensaaios Biológicos, como requisito para Defesa.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Messias Bezerra

MACAPÁ/AP
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Orinete Costa Souza – CRB-11/920

Costa, Giovanni Paulo Ventura.

Estudo da qualidade da água distribuída à população de Macapá pelo sistema público de abastecimento / Giovanni Paulo Ventura Costa ; Orientador, Roberto Messias Bezerra. – Macapá, 2019.
49 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde.

1. Água - Análise. 2. Água potável – Contaminação. 3. Metais pesados. 4. Físico - química. I. Bezerra, Roberto Messias, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

363.739 4 C837e
CDD. 22 ed.

GIOVANNI PAULO VENTURA COSTA

ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA À POPULAÇÃO DE
MACAPÁ PELO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO

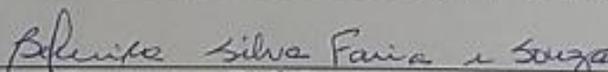
Dissertação de Mestrado apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências da
Saúde da Universidade Federal do Amapá -
UNIFAP, na área de concentração Ensaios
Biológicos, como requisito para Defesa.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Messias Bezerra

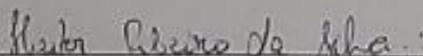
DATA DE APROVAÇÃO: 17/09/2018



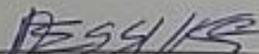
Examinador: Prof. Dr. Rafael Lima Resque
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ - UNIFAP



Examinadora: Prof.ª. Dra. Belmira Silva Faria e Souza
INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO
AMAPÁ - IEPA



Examinador: Prof. Dr. Heitor da Silva Ribeiro
INSTITUTO MACAPAENSE DO MELHOR ENSINO SUPERIOR-IMMES



Orientador: Prof. Dr. Roberto Messias Bezerra
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ - UNIFAP

MACAPÁ/AP
2018

*Aos meus pais País Maria Augusta Ventura Costa e
Manoel Santana dos Santos Costa*

*Aos meus amigos Helison Carvalho, Eliana Nunes,
Angélica Jones e meu orientador, Prof^o Dr. Roberto
Messias Bezerra.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre ter me erguido nos momentos mais difíceis, e ter me guiado nas sábias escolhas que fiz durante toda a jornada enfrentada ao decorrer do mestrado.

Aos meus queridos pais, Maria Augusta Ventura Costa e Manoel Santana dos Santos Costa, para fazer com que eu chegasse até este momento.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Roberto Messias Bezerra, pela oportunidade e confiança depositada em mim durante todo esse árduo percurso.

Aos meus familiares e amigos (a), que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste sonho. Em especial a Helison Carvalho, Iberê Santana, Kátia Andréia, Eliana Nunes e Angélica Jones, sempre me incentivando e apoiando no decorrer dessa fase da minha vida.

À toda a equipe do Laboratório de Pesquisa em Fármacos, pelos grandes momentos de convivência, troca de ensinamentos e conhecimentos, e pelo apoio na realização deste trabalho de dissertação.

À Universidade Federal do Amapá-UNIFAP, pela oportunidade cedida a mim para execução dessa dissertação.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde e toda sua equipe de coordenação. Agradecer também à minha excelente turma de mestrado, onde vivi bons momentos e fiz ótimas amizades.

Minha eterna gratidão a todos que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.

Aldo Novak

RESUMO

A água é um elemento essencial à vida humana para manter em homeostasia em suas atividades biológicas. Trata-se de um veículo biológico muito importante que facilita a absorção, biotransformação e eliminação de várias substâncias no organismo. A contaminação no processo de abastecimento de água pode acarretar doenças, no caso do fornecimento, com concentrações físico-químicas e de metais pesados superiores ao estabelecidos pela legislação. Nesse aspecto é de extrema importância o monitoramento do processo de abastecimento de água para consumo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água captada e distribuída pelo sistema público de abastecimento de água da Companhia de Água e Esgoto do Amapá a fim de verificar possíveis alterações em parâmetros físico-químicos e contaminações por metais pesados. O método para investigação dos parâmetros físico-químicos foi conforme o standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. E o método para análise de metais pesados, realizado pelo Espectrofotômetro de Absorção Atômica, foi aplicado em amostras de água do Rio Amazonas, antes do tratamento, e nas amostras nas saídas dos reservatórios de distribuição de água tratada, fornecido pela Companhia de Água de Macapá-AP. Com base nos resultados dos parâmetros físico-químicos, foi possível observar quanto ao pH, que os bairros de coleta amostral, apresentaram-se dentro dos limites recomendados pela legislação, com exceção do Bairro centro que apresentou água ácida pH de $4,2 \pm 0,09$ ($n=3$). Segundo os resultados, 70% da água dos bairros de Macapá apresentaram-se fora dos limites legais preconizados para turbidez, constatou-se que a maioria das amostras de água encontravam-se acima do limite de 5.0 UT. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os pontos de coleta para o parâmetro temperatura, sendo o menor valor encontrado de $27,9 \pm 2,29$ °C. Quanto a concentração de metais nas amostras, foi observado valores superiores ao que preconiza a Resolução 357/05 do CONAMA. O teor de Ferro nas amostras demonstrou que 100% dos pontos de coletas estavam com valores acima dos limites preconizados pela resolução CONAMA 357/2005, e segundo a legislação é permitido até no máximo $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Na concentração de Chumbo, os pontos variaram em 0,001 a $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$, demonstrando que 66,67 % das amostras estavam em desacordo com os limites permitidos para o teor de chumbo. Na concentração de cobre (Cu), os valores variaram de 0,02 a $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ nos diferentes pontos de coletas, sendo que o limite permitido é de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$. Dessa forma 100% dos pontos de coletas encontravam-se com valores superiores ao permitido. Para os valores de Cromo (Cr), foi possível observar que 100 % das amostras encontravam-se dentro do limite preconizado pela legislação com uma média de $0,03 \pm 0,002 \text{ mg.L}^{-1}$. Na conclusão foi demonstrado que tanto as concentrações de Ferro, Chumbo e Cobre, apresentavam-se em valores superiores ao que preconiza a Resolução 357/05 do CONAMA.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Físico-Químicos. Metais Pesados.

ABSTRACT

Water is an essential element to human life, to maintain its biological activities in homeostasis. Water is a very important biological vehicle and it favors the absorption, biotransformation and elimination of various substances in the body. Contamination by heavy metals in water supply can lead to diseases due to the use of water with limits higher than those established by legislation, in this respect it is extremely important to monitor the water supply process for consumption. Therefore, the aim of this study was to evaluate the quality of the water abstracted and distributed by the public water supply system of the Companhia de Água e Esgoto do Amapá in order to verify possible changes in physical-chemical parameters and contaminations by heavy metals. The method for investigating the physico-chemical parameters was according to the standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. And the method for the analysis of heavy metals performed by the Atomic Absorption Spectrophotometer was applied in samples of water from the Amazon River, before treatment, and in the samples at the exits of the treated water distribution reservoirs provided by Companhia de Água de Macapá-AP. Based on the results of the physico-chemical parameters it was possible to observe with respect to the pH, that the sample collection districts, were within the limits recommended by the legislation, except for the middle district that presented acidic pH of $4,2 \pm 0,09$ ($n = 3$). According to the results, 70% of the water in the districts of Macapá were outside the legal limits recommended for turbidity, it was verified that the majority of the water samples were above the limit of 5.0 UT. There was no significant difference ($p > 0.05$) between the collection points for the temperature parameter, being the lowest value found 27.9 ± 2.29 ° C. Regarding the concentration of metals in the samples, values higher than those recommended by CONAMA Resolution 357/05 were observed. The iron content in the samples showed that 100% of collection points had values above the limits recommended by CONAMA Resolution 357/2005, and according to the legislation a maximum of 0.3 mg.L⁻¹ is allowed. In the concentration of Lead, the points ranged from 0.001 to 0.08 mg.L⁻¹, demonstrating that 66.67% of the samples were in disagreement with the limits allowed for the lead content. At the copper concentration (Cu), the values ranged from 0.02 to 0.08 mg.L⁻¹ at the different collection points, and the allowed limit is 0.02 mg.L⁻¹. Thus, 100% of collection points were higher than allowed. For the values of Chromium (Cr), it was possible to observe that 100% of the samples were within the limit recommended by the legislation with an average of 0.03 ± 0.002 mg.L⁻¹. In conclusion, it was demonstrated that both the Iron, Lead and Copper concentrations were higher than those recommended in Resolution 357/05 of CONAMA.

Keywords: Water Quality. Physical-Chemical. Heavy Metals.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa do Perímetro Urbano de Macapá/AP com os pontos de coleta de amostras de água. 22
- Figura 2 - Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Chama (F-AAS) utilizado na pesquisa. 25
- Figura 3 - Concentração de Ferro (mg. L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas . 33
- Figura 4 - Concentração de Cobre (mg. L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas. 34
- Figura 5 - Concentração de Chumbo (mg. L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas. 34
- Figura 6 - Concentração de Cromo (mg. L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas . 35
- Figura 7 - Concentração de Ferro em mg. L^{-1} . (A) Mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite. 36
- Figura 8 - Concentração de Chumbo em mg. L^{-1} (A) mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite. 37
- Figura 9 - Concentração de Cobre em mg. L^{-1} . (A) Mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite. 38
- Figura 10 - Concentração de Cromo em mg. L^{-1} : (A) nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão. 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição percentual de água em área e volume no planeta.	14
Tabela 2 - Padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.	18
Tabela 3 - Pontos de amostragem de coletas de água captada do sistema de distribuição de água tratada da Companhia de Água do Amapá (CAESA).	23
Tabela 4 - Parâmetros e metodologias utilizadas para análise de metais pesados nas amostras de água da CAESA.	26
Tabela 5 - Resultado de cor aparente das amostras de água coletadas em mg Pt-Co/L, nos diferentes bairros de Macapá, período de julho à novembro.	27
Tabela 6 - Potencial hidrogeniônico (pH) das amostras de água coletadas nos diferentes bairros de Macapá, no período de estudo entre julho à novembro.	29
Tabela 7 - Turbidez em amostras de água da rede de distribuição da CAESA, destinada ao consumo humano na cidade de Macapá.	30
Tabela 8 - Temperatura (°C) das amostras de água coletadas nos diferentes bairros de Macapá, no período de estudo entre julho à novembro.	32

LISTA DE SIGLAS

CAESA - Companhia de abastecimento de água do Estado do Amapá

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

ETE - Estação de tratamento de esgoto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAAB - Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção

MS - Ministério da Saúde

OMS - Organização Mundial da Saúde

STD - Sólidos totais dissolvidos

UT - Unidades Turbidez

VIGIÁGUA - Vigilância da Qualidade da Água

VMP – Valores de Metais Pesados

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA A SOCIEDADE	13
1.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA	16
1.3 METAIS PESADOS E SAÚDE HUMANA	17
2 OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	21
3.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	24
3.4 ANÁLISES DE METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS	24
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	27
4.2 DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS	32
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE A – FOTOS DE LOCAIS DE COLETA	48
APÊNDICE B – ARTIGO PUBLICADO E PREMIAÇÃO	49

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial à vida humana e necessária a homeostasia das atividades biológicas do organismo. Trata-se de veículo biológico muito importante que favorece a absorção, biotransformação e eliminação de várias substâncias no organismo, além de servir para preservar a estabilidade da temperatura corporal. (TELLES; COSTA, 2007).

A água disponibilizada para consumo à população nos locais de distribuição envolve distintos pontos de conexão no sistema de abastecimento, que vão desde a coleta da água no reservatório natural, passagem por pontos de tratamento e posterior dispensa para sistema de distribuição domiciliar. Nesse sentido, o sistema público de abastecimento de água pode favorecer à falhas no tratamento contribuindo para a presença de elementos potencialmente tóxicos, como por exemplo metais pesados, que podem ser responsáveis por efeitos nocivos sobre o ambiente e a saúde pública. (SILVA; LOPES; AMARAL, 2016).

A introdução de metais nos sistemas de abastecimento ocorre naturalmente através de processos geoquímicos, no intemperismo e principalmente na atividade humana em regiões de rios onde há exposição à mineração e atividade industrial (FÖRSTNER; WITTMANN, 2012). Além desses, a má qualidade da água quanto ao teor de metais, pode ocorrer a partir da entrada desses minerais pelas fendas das conexões ou danificações dos sistemas de tubulações por pressão exercida pelo solo. A contaminação por metais pesados no processo de abastecimento de água pode acarretar doenças devido a utilização desta água com limites superiores ao estabelecidos pelas legislações. Nesse aspecto é de extrema importância o monitoramento do processo de abastecimento de água para consumo (AL- JASSER, 2007).

A Vigilância da Qualidade da Água (VIGIÁGUA) enfatiza que a água para fins de abastecimento público está cada vez mais vulnerável aos poluentes ambientais, principalmente metais oriundos da contaminação do solo e afluentes (DANIEL; CABRAL, 2011). Estes contaminantes comprometem a qualidade da água e a falta de investimentos e tratamento adequado, produz condições ambientais inadequadas e propicia o surgimento de doenças decorrentes da presença de metais acima dos

valores permitidos pelas agências regulatórias veiculados na água de abastecimento (SNIS, 2014).

Em Macapá, o sistema de auditoria atual da qualidade das águas da cidade, visa somente à pesquisa de bactérias e alguns minerais não tóxicos para a saúde humana, portanto, é de suma importância estudos que busquem um perfil mais abrangente da composição dos metais veiculados nas águas de abastecimento público.

O intenso progresso industrial acontecido nas últimas décadas vem sendo um dos principais elementos do comprometimento das águas em pontos de coletas naturais (QUEIROZ *et al.*, 2012), em função do descaso no tratamento dos resíduos industriais antes de despejá-los nos rios, além dos acidentes e descuidos que ocorrem propiciando a emissão dos poluentes nos recursos hídricos amapaenses (MAGOSSÍ; BONACELLA, 2008).

A emissão de resíduos industriais altera por várias vezes a concentração dos metais pesados nos rios, por intermédio de seus alastramentos no solo, no ambiente e na água, o que vem sendo razão de receio no mundo. Os metais são capazes de ser carregados por meio líquido como a água pluvial, infiltrando-se no solo, atingindo o lençol freático e contaminando a água subterrânea. A contaminação dessas águas possui efeitos que persistem por tempo ambíguo e são de complicada remediação (CAMPOS *et al.*, 2002; MAGOSSÍ; BONACELLA, 2008).

Diante de todo o contexto abordado, esta pesquisa teve por finalidade avaliar a qualidade da água distribuída à população de Macapá pelo sistema de abastecimento público.

1.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA A SOCIEDADE

A água é primordial à vida e formação do ecossistema do planeta, mas apenas aproximadamente 2,5% estão disponíveis na forma de água doce, e 97,5% é constituído de água salgada, nos oceanos e mares (MITTERMEIER *et al.*, 2010). Destes 2,5%, em torno de 75% estão nas calotas polares e geleiras congeladas, 10% nos aquíferos em lençóis profundos, 15% se encontra nos lugares de possível acesso, constituindo rios, lagos, lençóis freáticos, caverna superficiais e no ambiente. Desta forma é notória que a água disponível para consumo humano,

encontra-se em um meio onde sua captação é essencial para a utilização, porém sua forma natural encontrada na natureza precisa de averiguação para ter certeza de da ótima qualidade para o consumo (BARROS; AMIM, 2007).

De acordo com a Tabela 1, é possível observar a distribuição em percentual da massa de água no mundo. Ainda que o mundo tenha 3/4 de sua superfície recoberta por água é preciso observar que somente uma pequena porção desta pode ser aproveitada para atividades humanas (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Tabela 1 - Distribuição percentual de água em área e volume no planeta.

Localização	Área (10⁶ M³)	Volume (10⁶ km³)	Água total (%)	Água doce (%)
Oceanos	361,3	1338	96,5	-
Água subterrânea	134,8	23,4	1,7	-
Doce	10,53	0,76	0,055	-
Umidade do solo	0,016	0,0012	0,05	-
Calotas polares	16,2	24,1	1,74	68,9
Geleiras	0,22	0,041	0,003	0,12
Lagos	2,06	0,176	0,013	0,26
Doce	1,24	0,091	0,007	-
Salgado	0,82	0,085	0,006	-
Pântanos	2,7	0,011	0,0008	0,03
Rios	14,88	0,002	0,0002	0,006
Biomassa	0,001	0,0001	0,003	-
Vapor	0,013	0,001	0,04	-
Total	35	2,53	100	

Fonte: Mierzwa e Hespanhol, 2005.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), o volume completo de água no mundo é de 1.385.984.00 km³, sendo que somente 2,53% deste complexo é composto por água doce.

A quantidade de água disponível para consumo humano é bastante reduzida em comparação com a quantidade de água doce, portanto, a conservação desta quantidade utilizável depende da perpetuação de suas fontes naturais (HANJRA; QURESHI, 2010). Os reservatórios artificiais ou naturais recebem, por intermédio de afluentes alimentadores e das atividades antropogênicas, constantemente a deposição de diversos resíduos que podem ser caracterizados como contaminantes das águas (CAPOBIANCO; WHATELY 2002; FITZHUGH; RICHTER, 2004).

O grande espectro dos contaminantes que podem ser encontrados na água dificulta o controle sobre substâncias que não são analisadas, fazendo com que a legislação não atenda absolutamente aos requisitos técnicos e científicos para que a água possa ser consumida sem perigo para a saúde (WUANA; OKIEIMEN, 2011). Assim a qualidade da água é muito importante para a preservação da saúde dos seres humanos, especialmente das crianças, dos indivíduos mais idosos e daqueles que sofrem qualquer carência orgânica, uma vez que são mais susceptíveis aos contaminantes presentes na água (THORNTON, 2000; HUNTER, 2003).

No panorama nacional, o Brasil detém a disponibilidade de 82,7% de água tratada para a população, sendo 26,4% dos domicílios dependente de poços e nascentes e 13,2% de outras formas, como brejo, açudes e rios. A região Amazônica possui a maior porção de água doce, sendo 73% disponível para consumo. No entanto, apenas 60% dos municípios são atendidos por redes de abastecimento água, com o agravante de este sistema estar entre os piores do país, fato que contribui para veiculação de contaminantes na água, implicando por 80% das doenças e 65% das internações hospitalares, representando custos anuais para a economia de até 2,5 bilhões de dólares (IBGE, 2010; INSTITUTO, 2010).

A companhia de abastecimento de água do Estado do Amapá (CAESA), de acordo com o IBGE (2010), possui sistema complexo de captação por ser considerado arriscado devido à dificuldade de absorção e tratamento da água. O serviço é realizado de forma parcial, com condições desiguais e não satisfaz a necessidade de todos os indivíduos.

Entretanto, a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (MS) estabelece, em seus capítulos e artigos, as responsabilidades das operadoras dos sistemas de abastecimento de água. A estas operadoras cabe o controle de qualidade da água e

as responsabilidades das autoridades sanitárias das muitas instâncias de governo, a quem compete a missão de vigilância da qualidade da água para uso humano.

1.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA

As propriedades físicas e químicas são capazes de ser determinantes para definir as condições da utilização da água e na escolha da metodologia para o tratamento (ZORNOZA et al., 2015). As principais propriedades utilizadas como parâmetros de qualidade da água são: a coloração aparente, a turbidez, os teores de sólidos: a temperatura, o gosto e o cheiro, pH, alcalinidade, acidez, aspereza, Demanda bioquímica do Oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD). (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2003).

De acordo com SPERLING (2005), a coloração está associada com a figura de sólidos dissolvidos e partículas coloidais, oriundos de matéria orgânica e minerais, principalmente ferro e manganês, bem como de resíduos industriais e esgotos domésticos.

A turbidez é causada especialmente por partículas suspensa na água. Refere-se à qualquer classe de partícula com dimensão diversificada a partir de suspensões grosseiras de material orgânico e inorgânico (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Os sólidos suspensos e dissolvidos dificultam a limpeza da água. Esses sólidos são capazes de abalar a eficiência dos sistemas de tratamento de água, por intermédio de acúmulo nos filtros, fato que provoca uma maior frequência nas lavagens dos filtros, causando perda de eficiência na passagem da água e necessidade de maior acréscimo de itens químicos para a clarificação da água (ANDREOLI *et al.*, 2014).

Os sólidos totais correspondem à massa restante de quantidade específica de água evaporada ou calcinada a uma temperatura pré-fixada, ao longo de certo tempo (CHEBLI *et al.*, 2016). Os sólidos totais dissolvidos (STD) é uma junção dos sólidos totais existentes na água. Nas pesquisas de controle de contaminação das águas, as determinações dos graus de concentração das muitas frações de sólidos resultam em um melhor grau de conhecimento para a demanda da utilização dos

filtros e do montante de aditivos químicos para remoção da maior parte das partículas (RICHARDSON; KIMURA, 2015). Esse quadro se constitui em uma informação preliminar fundamental para efetividade do sistema de tratamento de água (CETESB, 2009).

A temperatura é um indicador da intensidade de calor e uma vez que interfere na rapidez das reações químicas, na solubilidade dos gases pode acentuar a percepção de gosto e cheiro. Interferem também na eficiência da desinfecção e no desempenho das unidades de combinação ágil, floculação, decantação e absorção (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 2003).

O potencial hidrogeniônico (pH) revela a natureza ácida, neutra ou alcalina da água. A identificação de um pH baixo indica a água estar ácida. Normalmente essa acidez é associada com a decomposição da matéria orgânica no curso da água. Valores altos indicam uma água alcalina (O'NEILL *et al.*, 1997).

Segundo a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (MS), que trata sobre a potabilidade da água servida a indivíduos, a recomendação é que o pH desta fique na faixa de 6,0 a 9,5. No tratamento de água de abastecimento público, a faixa de pH está associada a eficiência na etapa de clareamento, uma vez que a quantidade de compostos químicos adicionados na água tem influência nos valores de pH desta (SPERLING, 2005).

A acidez está relacionada com o condicionamento final da água após etapas do tratamento. Em algumas situações é preciso adicionar carbonatos como agente alcalinizante a fim de evitar complicações de corrosão no sistema de abastecimento e se atingir valores que a legislação de potabilidade recomenda (RITCHER; AZEVEDO NETTO, 2003).

1.3 METAIS PESADOS E SAÚDE HUMANA

Os danos ocasionados pelos metais pesados à saúde humana são os mais variados e variam de acordo com a alíquota de consumo, abundância e concentração do metal no corpo. Caso a concentração de metais pesados no corpo não seja controlada, intoxicações agudas ou crônicas são os graves resultados. Por

outro lado, pesquisas avaliativas são capazes de determinar a concentração de metais na água e definir o padrão de uso tolerável para consumo humano (AKOTO et al., 2014).

Vários metais pesados comprovadamente tem a capacidade de ocasionar carcinogenicidade mediante consumo em quantidades excedentes ao aceitado, neste caso o cromo, chumbo e arsênico são os principais (SALNIKOW; ZHITKOVICH, 2007). Além do advento de carcinoma, a exposição humana à metais pesados demonstra efeitos toxicológicos que incluem, entre outros, imunotoxicidade, neurotoxicidade e efeitos teratogênicos (ABDUL *et al.*, 2015; SENGUPTA et al., 2015).

Geralmente, os metais pesados não provocam sintomas quando entram pela primeira vez em contato com o organismo, no entanto, têm a capacidade de ir se acumulando dentro das células do organismo, provocando problemas como alterações renais, como a insuficiência renal, lesões cerebrais e existe a suspeita de que também possam aumentar o risco de câncer.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define que a água potável própria ao consumo humano é aquela que apresenta aspecto transparente e límpido; não apresenta cheiro ou gosto observáveis e que não contenha nenhuma substância em concentrações que possam causar qualquer tipo de prejuízo à saúde.

O Ministério da Saúde, através da Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, atualizou os padrões de potabilidade estabelecidos no Brasil. A Tabela 2 apresenta os valores de Metais Pesados considerados normais em amostras de água.

Tabela 2 - Padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Metal	VMP (mg/L)
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Cianeto	0,7

Tabela 2 - Padrões de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

(Continuação).

Metal	VMP (mg/L)
Ferro	0,3
Chumbo	0,01
Cobre	0,02
Cromo	0,05
Fluoreto	1,5
Mercúrio	0,001
Nitrato (como N)	10
Nitrito (como N)	1
Selênio	0,01

Fonte: Adaptado de Mota (2012, p. 160).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento público da Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA) a fim de verificar possíveis contaminações por metais pesados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Mensurar os parâmetros físico-químicos (Cor, pH, Turbidez, Sólidos Totais, temperatura) da água nos diferentes pontos de coletas;

Mensurar a concentração de metais pesados como cobre, ferro, chumbo e cromo da água nos pontos de coleta;

Avaliar a qualidade da estação de tratamento;

Comparar os resultados das análises com os valores de referência permitidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 357/05.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa foi desenvolvida e realizada na cidade de Macapá, no Estado do Amapá, Brasil, que fica localizada à margem esquerda do Rio Amazonas entre as coordenadas 00° 02' 18.80" de latitude N e 51° 03' 60.05" de longitude O.

A cidade de Macapá é cercada e entrecortada pelas chamadas "áreas de ressaca", que são ecossistemas alagados típicos da região, intrincada por rede de canais e igarapés. Nestas regiões várias famílias residem de forma precária, sofrendo grande influência de esgoto doméstico e do ciclo sazonal das chuvas.

Os locais de coleta da água foram: Santa Rita, Novo Horizonte, Cabralzinho, Brasil Novo, Infraero, Marco Zero, Perpétuo Socorro, Trem (Estação de Tratamento 01 e 02), Buritizal, Centro e Santa Inês, sendo definidos em função da localização da água captada e dos principais reservatórios de água (caixa d'água) do sistema público de abastecimento da cidade de Macapá (CAESA) (Figura 1), e dos sistemas alternativos coletivos que agrupam bairros da zona centro-oeste, sul, leste e norte de Macapá.

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

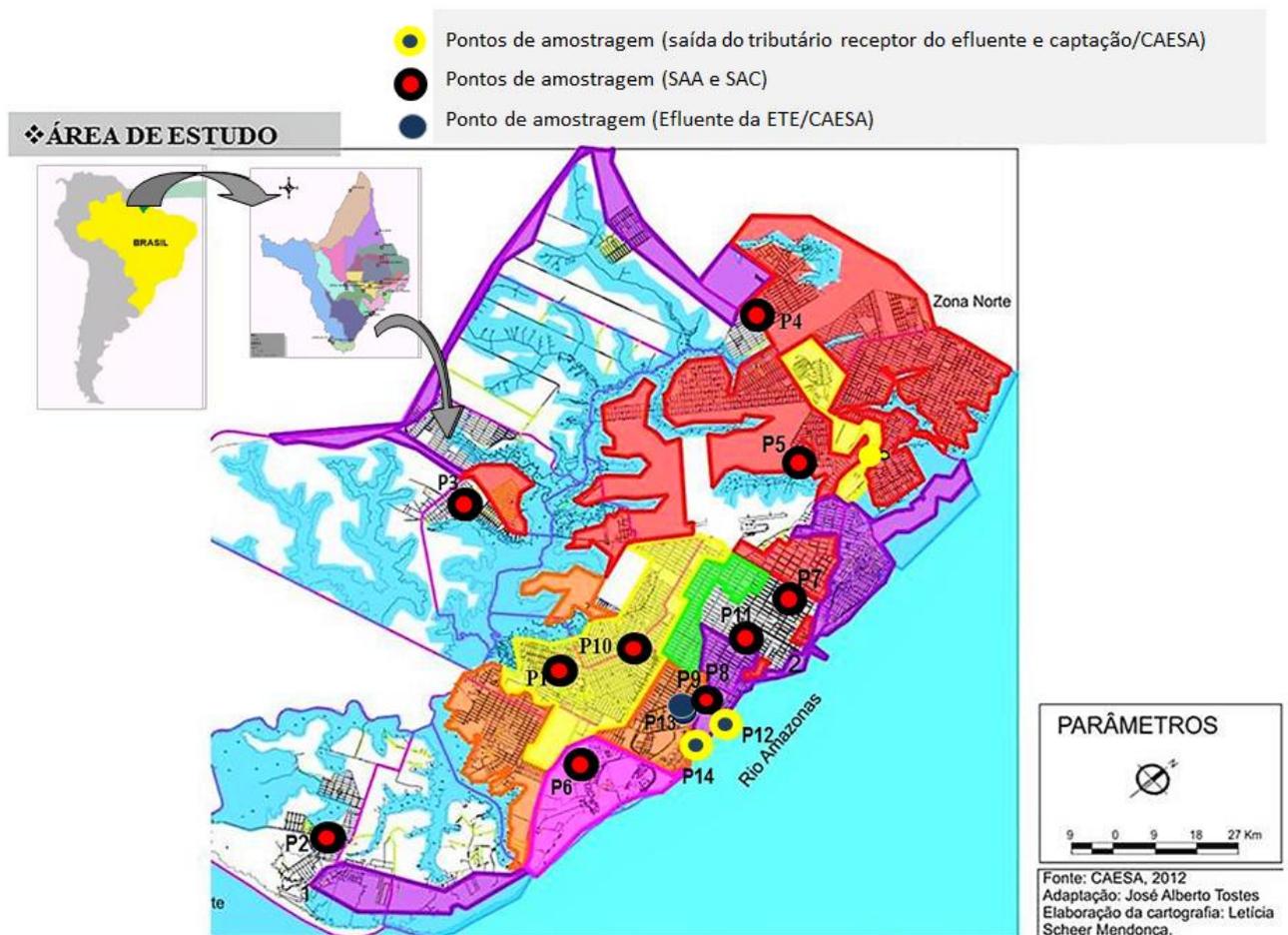
Primeiramente, verificou-se a existência de torneira junto ao sistema de abastecimento de água e a posteriori junto às "caixas d'água" nos bairros de coleta. Abriu-se a torneira e deixou-se escoar por dois a três minutos ou o tempo suficiente para eliminar a água estagnada na tubulação. A torneira não deve ter aeradores ou filtros, nem apresentar vazamento. É necessário ter certeza que a água seja proveniente da rede de distribuição e não de caixas ou reservatórios internos.

Esse teste consiste em fechar o registro de entrada de água da rede de distribuição e abrir a torneira indicada para a coleta; se não houver escoamento de água pela torneira, conclui-se que realmente a água é proveniente da rede de distribuição. As amostras de água foram coletadas em recipientes plásticos estéreis de 500 ml, devidamente etiquetados. Os frascos foram fechados e identificados. A

identificação das amostras teve as seguintes informações: tipo, data e horário da coleta, e nome do responsável pela coleta. Em seguida, as amostras eram acondicionadas em caixa térmica com gelo durante o processo de coleta e transporte para o laboratório onde eram armazenadas em geladeira e permanecendo sob resfriamento até o preparo para análises.

Teve-se o cuidado de não encher o frasco até a boca (até $\frac{3}{4}$), permitindo desta forma a homogeneização do seu conteúdo. Todas as amostras de água foram armazenadas em caixa térmica sob refrigeração de 4 °C a 8°C graus, logo após sua coleta, e transportadas para o laboratório para análises.

Figura 01 – Mapa do Perímetro Urbano de Macapá/AP com os pontos de coleta de amostras de água.



Fonte: Adaptado de Tostes, 2013.

A Tabela 3 demonstra a localização geográfica dos pontos de coleta da água para análise nos bairros guarnecidos pelo sistema de abastecimento público da CAESA no referido Município. Os bairros onde foram realizadas as captações das amostras foram: Santa Rita, Novo Horizonte, Cabralzinho, Brasil Novo, Infraero, Marco Zero, Perpétuo Socorro, Trem (Estação de Tratamento 01 e 02), Buritizal, Centro e Santa Inês.

Tabela 3 – Pontos de amostragem de coletas de água captada do sistema de distribuição de água tratada da Companhia de Água do Amapá (CAESA).

Ponto de coleta/saída	Pontos na Saída dos Reservatórios	Ponto de coleta (Coordenadas geográficas)
P1	SANTA RITA	“00° 04’ 705 – 51° 11’ 273”
P2	NOVO HORIZONTE	“00 ° 95’ 67 – 51 ° 04’ 829”
P3	CABRALZINHO	“00° 29’ 10 – 51° 11’ 505”
P4	BRASIL NOVO	“00° 08’ 907 – 51° 08’ 491”
P5	INFRAERO	“00° 02’ 962 – 51° 11’ 279”
P6	MARCO ZERO	“00° 01’ 585 – 51° 08’ 194”
P7	PERPETUO SOCORRO	“00° 00’ 367 – 51 05’ 567”
P8	TREM (ETAM 01)	“00° 02’ 347 – 51° 06’ 002”
P9	TREM (ETAM 02)	“00 ° 26’ 836 – 51 ° 06’ 076”
P10	BURITIZAL	“00° 02’ 185 – 51° 07’ 372”
P11	CENTRO	00° 03’ 769 – 51° 05’ 534”
P12	SANTA INÊS	00° 02’ 211 – 51° 05’ 032”
P14	SANTA INÊS	00° 00’ 368 – 51° 07’ 233”

.Fonte: Adaptado de Mota (2012, p. 160)

3.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As análises físico-químicas foram realizadas nas amostras de água coletadas nos diversos bairros em Macapá, onde foram avaliados os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (Ph), temperatura da água (°C), Cor (mgpt-Co/L) e turbidez (UT).

As medições de Ph foram executadas usando pHmetro de bancada (Medidor de Ph e Eletrodo (Marca HACH – Hexis científica S/A.); as análises de turbidez por meio de um turbidímetro (Turbidímetro TL 2300 - Hexis); a temperatura foi verificada usando termômetro e a análise da Cor efetuado pelo método 8025-APHA Platinum-Cobalt Standard Method no espectrofotômetro (DR 3900 – HACH).

Todas as análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas conforme as normas e métodos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19ª edição (APHA, 1995).

3.4 ANÁLISES DE METAIS PESADOS NAS AMOSTRAS

A escolha dos metais pesados como parâmetros ocorreu devido à revisão de literatura apontá-los como os principais poluentes contidos nos efluentes que deságuam no Amazonas.

Para averiguar a presença de metais pesados, através do lançamento de efluentes que despejam suas águas no rio Amazonas, e sobre o tratamento e posterior distribuição para os demais bairros, foram realizadas análises de água no ponto de coleta de abastecimento do bairro do Trem (Antes do tratamento e após o tratamento) para posteriormente comparar os resultados com a legislação e com os demais bairros para onde a água é distribuída.

A amostragem, assim como as análises dos parâmetros foram realizadas 1 (uma) vez ao mês, no período de julho à novembro de 2017. Totalizando 5 (cinco) coletas amostrais. Em cada ponto foi coletada amostras em triplicatas. Para cada amostra foram realizadas análises dos quatro principais metais pesados, sendo:

cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb) e Ferro (Fe). As coletas foram realizadas em horários aleatórios e em dias programados da semana.

A leitura das concentrações dos metais pesados Fe, Cr, Cu e Pb nas amostras de água foram realizadas no Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Chama (F-AAS), modelo AA-6300 (Figura 1), do Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção (LAAB) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

O Espectrofotômetro de Absorção Atômica (EAA) é um dos equipamentos mais utilizados para análise de metais pesados em níveis de parte por milhão (ppm). Para o seu funcionamento é necessário:

a) Uma fonte de energia radiante para gerar luz no comprimento de onda característico ao elemento a ser analisado. A lâmpada de cátodo oco é a mais usada frequentemente, por ser uma fonte de energia estreita e intensa (outras fontes são as lâmpadas de descarga eletrônica, EDLs, ou lâmpadas de cátodo oco estimuladas por descargas, chamadas de superlâmpadas);

b) Um atomizador para criar uma população de átomos metálicos do elemento de interesse no estado gasoso, em seguida a amostra é introduzida como um aerossol na chama ou no gerador de hidretos, que se encontram alinhados ao caminho óptico da luz radiante.

Figura 2 - Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Chama (F-AAS) utilizado na pesquisa.



Fonte: Própria

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor até entrega no laboratório de Absorção Atômica – UNIFAP, em seguida as mesmas foram analisadas, obedecendo a metodologia mostrada na Tabela 4.

Após a obtenção dos resultados, das análises de metais pesados nas amostras de cada ponto de coleta, foi realizada a comparação entre os valores obtidos nas análises com os padrões permitidos pela resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Tabela 4 - Parâmetros e metodologias utilizadas para análise de Metais pesados nas amostras de água da CAESA.

Parâmetro determinados	Metodologias utilizadas nos ensaios laboratoriais	Limite de detecção (mg/L)
Chumbo (Pb)	Standart methods 22st – método 3120 b [pnt003-ab]	0,01
Ferro (Fe)	Standart methods 22st – método 4500 c e e [pnt018-ef]	0,3
Cobre (Cu)	Standart methods 22st – método 3120 b [pnt003-ab]	0,009
Cromo (Cr)	Standart methods 22st – método 3120 b [pnt003-ab]	0,05

Fonte: Laboratório de Absorção Atômica – UNIFAP

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados quantitativos obtidos foram expressos em valores de média e desvio padrão. A estatística inferencial foi utilizada com o propósito de se verificar as diferenças entre os valores obtidos. Valores com níveis de significância de $p < 0.05$ foram considerados estatisticamente significativos. O teste T pareado foi aplicado para inferir a diferença entre as amostra de água tratada e não tratada. Posteriormente aplicou-se o teste ANOVA, seguido do teste de Tukey para inferir diferença entre a variação de metais com base na obtenção da área sobre a curva (A.S.C) do período de coleta. O Programa estatístico utilizado foi o Prism (versão 7.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A cor aparente da água apresentou diferença significativa ($P < 0.05$) quando comparada as amostras coletadas diretamente do ponto sem tratamento e comparada após o tratamento. No entanto, observou-se também que os demais pontos de abastecimentos dos bairros de Macapá apresentam resultados em desacordo com a legislação e indicam que o tratamento das mesmas está sendo inadequados, pois, a cor aparente estava fora dos padrões legais podendo ser um indicativo de contaminantes (RICHTER; NETO, 2003; ISLAM *et al.*, 2015).

Em relação à cor aparente das amostras de água da CAESA (Tabela 5), o menor valor médio da cor aparente foi de $25,2 \pm 0,022$ mgPt-Co/L no ponto de coleta do bairro Cabralzinho, e o maior valor foi de $91,3 \pm 0,034$ mgPt-Co/L no bairro do Trem. Este parâmetro apresentou-se fora dos limites legais para todos os pontos de coletas, segundo a legislação da Resolução do CONAMA 357/2005, a coloração para água de consumo humano, não pode exceder o limite de 15 mgPt-Co/L. A água com alta coloração indica a existência de metais, principalmente ferro e manganês, ou matéria orgânica que em concentrações elevadas e estas substâncias podem ser de difícil retirada durante o processo de tratamento (CONAMA, 2008).

Na tabela 5, todos os valores expressam a média e desvio padrão ($n=3$) enquanto o * Representa resultado estatisticamente significativo comparados com ponto de coleta Trem (Tratada).

Tabela 5 - Resultado de cor aparente das amostras de água coletadas em mg Pt-Co/L, nos diferentes bairros de Macapá, período de julho à novembro de 2017.

(Continua)

Cor em mgPt-Co/L das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Trem (Bruta)	$181,8 \pm 0,061^*$	$153,3 \pm 0,061^*$	$142,1 \pm 0,073^*$	$161,4 \pm 0,047^*$	$161,2 \pm 0,052$

Tabela 5 - Resultado de cor aparente das amostras de água coletadas em mg Pt-Co/L, nos diferentes bairros de Macapá, período de julho à novembro de 2017.

(Conclusão)

Cor em mgPt-Co/L das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Trem (Tratada)	91,3±0,034	71,3±0,032	73,5±0,021	63,0±0,041	81,0±0,031
Marco Zero	76,3±0,031	62,5±0,034	51,5±0,027	86,6±0,042	76,6±0,038
Santa Rita	71,2±0,045	63,4±0,032	73,2±0,039	72,4±0,022	66,3±0,032
Infraero	62,3±0,023	68,4±0,034	51,1±0,045	81,3±0,024	79,4±0,039
Brasil Novo	70,1±0,021	67,6±0,030	76,5±0,024	72,3±0,034	73,9±0,033
Centro	49,9±0,025	48,6±0,030	45,2±0,019	63,5±0,027	69,9±0,021
Buritizal	59,4±0,032	54,3±0,028	51,3±0,024	71,3±0,021	77,5±0,043
Novo Horizonte	53,2±0,021	62,6±0,030	76,5±0,024	71,3±0,021	77,5±0,043
Cabralzinho	39,1±0,025	47,6±0,035	25,2±0,022	33,5±0,021	29,7±0,029
Perpétuo Socorro	61,7±0,037	77,1±0,027	71,3±0,029	82,3±0,032	85,9±0,034

Fonte: Própria

Com relação aos valores de pH das amostras de água da CAESA durante o período de estudo (Tabela 6) observa-se o menor valor do pH em 4,2±0,09 no ponto de coleta do bairro Centro, com valores reduzidos nos meses de julho, agosto e setembro, já o maior valor de 8,3±0,04 no ponto de coleta do bairro Infraero no mês de outubro

A água bruta coletada no bairro do trem também se apresentou fora dos parâmetros para consumo, no entanto o tratamento utilizado foi efetivo para a correção do pH. Com exceção do Bairro centro, todas as amostras apresentaram-se dentro dos limites recomendados pela legislação, pois segundo a Resolução do

CONAMA 357/2005 é recomendado que o pH da água utilizada para consumo humano fique entre 6,0 e 9,5.

Os valores de pH da água acima dos limites permitidos podem agir como agentes corrosivos para as tubulações, e além disso, pode ser prejudicial à saúde do indivíduo. Nesse aspecto, a correção de pH da água para consumo humano, configura-se como a última fase do tratamento de água, onde são adicionados álcalis para ajustar o pH ao limite, caso seja necessário. Os produtos geralmente utilizados nesse processo são: cal virgem e hidratada, carbonato de sódio e hidróxido de sódio (LIBÂNIO, 2010; CRUZ, 2016).

Na maioria das pessoas, a acidez em excesso interfere no metabolismo gerando além de doenças, obesidade ou sobre peso: com super acidez o estômago absorve rapidamente os alimentos (como acontece quando se toma coca-cola após a refeição), com isso a fome retorna rapidamente, mais alimento se ingere e é digerido com rapidez. Esse ciclo se repete ao longo dos dias, semanas, meses, etc., conseqüentemente, levando a obesidade ou ao desequilíbrio do peso. (YOUNG 2002).

Tabela 6 - Potencial hidrogeniônico (pH) das amostras de água coletadas nos diferentes bairros de Macapá, no período de estudo entre julho à novembro.

Potencial hidrogeniônico (pH) das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Trem (Bruta)	5,8±0,02	4,3±0,04	5,1±0,03	4,4±0,04	4,2±0,05
Trem (Tratada)	6,3±0,04	6,3±0,02	6,5±0,02	6,1±0,04	6,3±0,03
Marco Zero	6,1±0,01	6,4±0,04	5,3±0,07	6,6±0,02	6,6±0,03
Santa Rita	7,2±0,05	6,4±0,03	7,2±0,03	7,4±0,02	6,3±0,02
Infraero	6,3±0,03	6,2±0,03	6,1±0,05	8,3±0,04	7,4±0,03
Brasil Novo	7,1±0,01	6,4±0,02	7,5±0,04	7,3±0,03	7,9±0,03
Centro	4,9±0,05	4,5±0,05	4,2±0,09	6,5±0,07	6,2±0,02
Buritizal	6,2±0,03	5,9±0,08	5,3±0,02	7,3±0,04	7,5±0,04
Novo Horizonte	6,1±0,02	6,6±0,03	6,5±0,04	7,7±0,03	7,4±0,05
Cabralzinho	6,4±0,02	7,6±0,05	5,2±0,02	6,5±0,02	6,7±0,04
Perpétuo Socorro	6,7±0,03	7,4±0,07	7,3±0,09	6,3±0,03	5,9±0,03

Fonte: Própria

Todos os valores expressam a média e desvio padrão (n=3). Mostrando que não houve diferença estatística entre os valores de (pH) da água tratada.

No que diz respeito a turbidez (Tabela 7), as amostras de água da CAESA apresentaram o menor valor da turbidez em $2,30 \pm 1,45$ UT no ponto de coleta do bairro Santa Rita e com constância no valor reduzido em todo o período de estudo, e maior valor com $17,6 \pm 3,70$ UT no ponto de coleta do bairro Brasil Novo. Segundo os resultados 70% da água dos bairros de Macapá apresentaram-se fora dos limites legais preconizados para turbidez, constatou-se que a maioria das amostras de água encontravam-se acima do limite de 5.0 Unidades Turbidez (UT).

O valor de turbidez da água após tratamento, geralmente esta associada a falta de manutenção nos sistemas de tratamento, principalmente nas etapas que envolvem a decantação e filtração das partículas em suspensão, também pode ser atribuída a danos na rede de distribuição ou acúmulo de resíduos nas tubulações por falha em tratamentos anteriores.

Os resultados mostraram que somente os bairros Santa Rita, Centro e Buritizal apresentaram diferença estatística ($p < 0.05$) em relação aos demais bairros. Dessa maneira, foram os que apresentaram suas águas com turbidez dentro dos limites aceitáveis para consumo humano. Isso mostra que os outros bairros, com limites inaceitáveis de turbidez nas águas, precisam de ampliação e manutenção para efetivar um melhor trabalho de clarificação.

Estudo realizado por Ferreira (2017), demonstrou que os pontos de abastecimento de Macapá trabalham sobrecarregados e, conseqüentemente por possuir estruturas antigas e precárias, a qualidade da água é comprometida, expondo a população a uma água de má qualidade.

Tabela 7 - Turbidez em amostras de água da rede de distribuição da CAESA, destinada ao consumo humano na cidade de Macapá. (Continua)

Unidades Turbidez (UT) das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Trem (Bruta)	$51,8 \pm 3,61^*$	$43,3 \pm 4,61^*$	$52,3 \pm 4,73^*$	$61,2 \pm 6,73^*$	$63,3 \pm 4,53^*$
Trem (Tratada)	$4,2 \pm 1,39$	$4,3 \pm 3,53$	$5,1 \pm 2,87$	$5,8 \pm 2,05$	$6,3 \pm 3,73$

Tabela 7 - Turbidez em amostras de água da rede de distribuição da CAESA, destinada ao consumo humano na cidade de Macapá. (Conclusão)

Unidades Turbidez (UT) das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Marco Zero	6,3±2,38	8,4±2,24	7,6±2,45	9,2±2,23	8,1±3,92
Santa Rita	2,3±1,45#	3,4±2,82#	4,2±2,39#	4,4±1,32#	4,3±2,62#
Infraero	6,3±3,26	8,4±3,64	5,1±3,45	8,3±4,74	7,4±5,99
Brasil Novo	14,1±2,81	17,6±3,70	15,5±4,69	16,3±6,04	11,9±6,03
Centro	4,9±2,24#	4,3±2,48#	3,2±1,79#	4,5±1,27#	4,9±1,51#
Buritizal	4,4±2,82#	4,3±2,48#	4,3±1,67#	3,3±1,04#	4,9±1,14#
Novo Horizonte	9,2±1,61	6,6±2,30	7,5±5,29	9,3±3,34	7,9±4,73
Cabralzinho	9,1±2,24	7,6±4,25	5,2±3,29	3,5±2,61	4,7±4,09
Perpétuo Socorro	8,7±3,67	7,1±5,97	13,3±2,24	11,3±2,24	13,9±5,14

Fonte: Própria

Todos os valores expressam a média e desvio Padrão (n=3). Sendo que o * Representa resultados estatisticamente significativo comparado ao ponto de coleta Trem (Tratada). #Representa resultado significativo comparado entre os demais pontos de coleta.

No que diz respeito a temperatura das amostras de água coletadas nos pontos de captação de água da CAESA (Tabela 8), foi possível observar que não houve diferença significativa entre os pontos, sendo o menor valor de temperatura em 27,9±2,29 °C no ponto de coleta do bairro Novo Horizonte e a maior de 31,9±1,24 °C no ponto de coleta do Bairro centro e Perpétuo Socorro.

Essas pequenas variações térmicas se deve à radiação solar, haja vista que, dependendo da hora do dia, há uma maior incidência de radiação solar no local de coleta (IQBAL, 2012).

Nesse contexto, foi necessário coletar em horários diferentes abrangendo manhã, tarde e noite, e noutro giro, optando pela média nos resultados finalísticos.

Tabela 8 - Temperatura (°C) das amostras de água coletadas nos diferentes bairros de Macapá, no período de estudo entre julho a novembro.

Temperatura (°C) das Amostras de água nos meses de estudo					
Pontos de coleta	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Trem (Bruta)	29,8±1,35	28,3±2,22	29,3±1,73	29,2±1,73	30,3±2,53
Trem (Tratada)	30,2±1,39	29,3±2,52	31,4±1,87	30,0±1,05	29,3±2,73
Marco Zero	29,3±2,38	28,4±2,24	29,6±2,58	29,2±2,23	28,±1,92
Santa Rita	31,3±2,45	30,4±2,85	31,2±2,39	29,4±2,55	30,3±1,68
Infraero	31,3±1,26	28,4±1,82	30,1±2,23	30,3±2,74	28,4±1,99
Brasil Novo	31,1±2,89	27,6±1,70	28,5±2,69	30,3±1,89	29,9±2,65
Centro	31,9±1,24	28,6±1,88	29,2±1,79	29,5±2,27	29,9±1,66
Buritizal	37,4±1,82	31,3±2,48	30,3±2,52	30,3±2,58	28,9±2,54
Novo Horizonte	28,2±1,61	31,1±2,30	27,9±2,29	31,3±2,53	31,2±2,58
Cabralzinho	29,1±2,24	28,6±1,58	29,2±1,25	30,5±2,09	29,7±2,45
Perpétuo Socorro	28,7±1,67	28,1±1,97	28,3±2,24	29,3±1,52	31,9±2,18

Fonte: Própria

(Todos os valores expressam a média e desvio Padrão (n=3)).

4.2 DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS

Os metais se diferenciam das substâncias orgânicas tóxicas devido a sua capacidade de não ser degradado. Essa característica faz com que esses elementos metálicos se acumulem no ambiente e nos indivíduos expostos ao consumo de água contendo concentrações elevadas. Os metais pesados podem ser facilmente

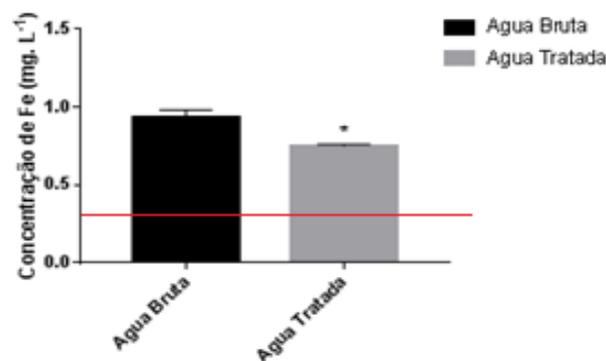
encontrados como contaminantes de águas, devido ao fato de suas fontes serem intimamente relacionada ao despejo em águas superficiais, rios, lagos, lençóis freáticos entre outros (MOORE; RAMAMOORTHY, 2012). As principais fontes dos metais advêm de fontes naturais, tais como depósitos no subsolo e em rochas na crosta terrestre, além disso, há fontes antropogênicas, tais como indústria química, metalúrgica e mineração, pesticidas e lixo doméstico (FUGE, 2013).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através da Portaria 357 de 2005 estabelece os parâmetros da água para consumo humano e define os valores limites de concentração para metais pesados. Além disso, a Portaria 518 de 2004, já vinha descrevendo que compostos metálicos inorgânicos podem interferir no processo de tratamento e podem causar riscos à saúde humano promovendo toxicidade. Destacando-se como metais perigosos, Chumbo, Cromo, Cobre, Mercúrio, Arsênio, Bário, Cádmio entre outros.

Neste estudo, primariamente buscou-se avaliar a diferença entre as concentrações de metais na estação de abastecimento do bairro do Trem entre as amostras de águas brutas obtidas diretamente do Rio Amazonas e posteriormente a água obtida do final do processo de tratamento.

Quanto ao teor de metais nas amostras de água bruta e tratada, foi possível observar que as concentrações de Ferro (Figura 3) apresentaram valores acima do limite de 0.3 mg.L^{-1} permitidos pela legislação, tanto a água bruta com valor de $0.93 \pm 0.05 \text{ mg.L}^{-1}$ quanto a água tratada com valor de $0.75 \pm 0.01 \text{ mg.L}^{-1}$. O * Representa resultado significativo ($P < 0.05$).

Figura 3 - Concentração de Ferro (mg. L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas.



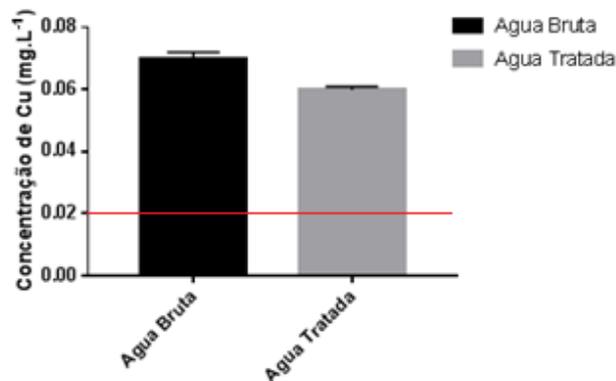
Fonte: Própria

Observou-se que teve diferença estatística significativa ($P < 0.05$) entre as duas amostras, demonstrando que o tratamento consegue reduzir o teor de Ferro quando a água bruta passa por tratamento. No entanto essa remoção de Ferro não é efetiva para deixar a concentração em níveis aceitáveis.

Nesse contexto, o ferro em excesso no organismo pode se acumular em órgãos como coração, fígado e pâncreas, fazendo surgir complicações como o aumento de gordura e endurecimento do fígado, cirrose, câncer, palpitações cardíacas, diabetes e artrite.

Quanto ao teor de Cobre nas amostras de água bruta e tratada (Figura 4), foi possível observar que as concentrações apresentaram valores acima do limite de 0.02 mg.L^{-1} permitidos pela legislação do CONAMA, tanto a água bruta com valor de $0.07 \pm 0.002 \text{ mg.L}^{-1}$ quanto a água tratada com valor de $0.06 \pm 0.001 \text{ mg.L}^{-1}$. Observou-se que não houve diferença estatística significativa ($P < 0.07$) entre as duas amostras, demonstrando que o tratamento não é eficaz para eliminação de Cobre na água bruta após passagem pelo tratamento.

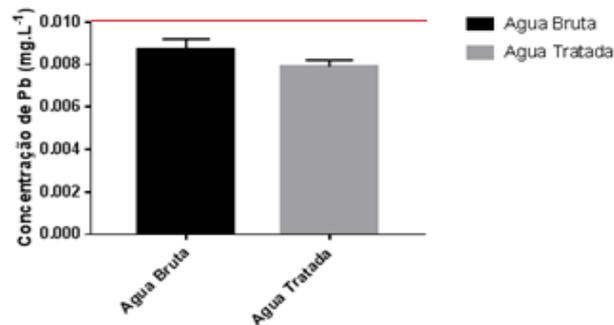
Figura 4 - Concentração de Cobre (mg.L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas.



Fonte: Própria

Quanto ao teor de Chumbo nas amostras de água bruta e tratada (Figura 5), foi possível observar que as concentrações apresentaram valores dentro do limite de 0.01 mg.L^{-1} permitido pela Resolução n. 20/86 do CONAMA, tanto a água bruta com valor de $0.0087 \pm 0.0005 \text{ mg.L}^{-1}$ quanto a água tratada com valor de $0.0079 \pm 0.0003 \text{ mg.L}^{-1}$. Observou-se que não houve diferença estatística significativa ($P < 0.078$) entre as amostras.

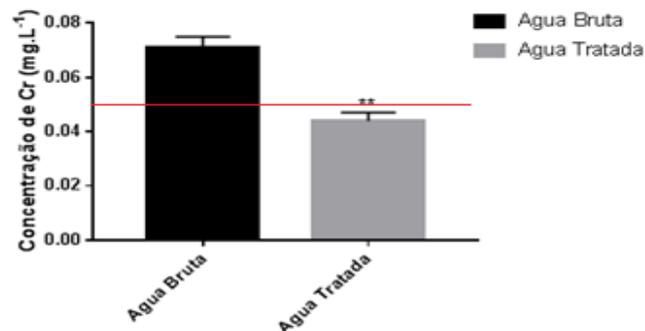
Figura 5 - Concentração de Chumbo (mg.L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas.



Fonte: Própria

Quanto ao teor de Cromo nas amostras de água bruta e tratada (Figura 6), foi possível observar que a água bruta apresentou concentração acima do limite de 0.05 mg.L^{-1} permitidos pela legislação do CONAMA, com valor de $0.071 \pm 0.004 \text{ mg.L}^{-1}$. Já a água tratada apresentou valor de $0.044 \pm 0.003 \text{ mg.L}^{-1}$. Observou-se que houve diferença estatística significativa ($P < 0.01$) entre as duas amostras, demonstrando que o tratamento da água é eficaz para reduzir as concentrações de Cromo na água bruta após passagem pelo tratamento. O ** Representa resultado significativo ($P < 0.01$).

Figura 6 - Concentração de Cromo (mg.L^{-1}) mensurados nas amostras de águas coletadas no bairro do Trem, amostras de água bruta e tratadas.



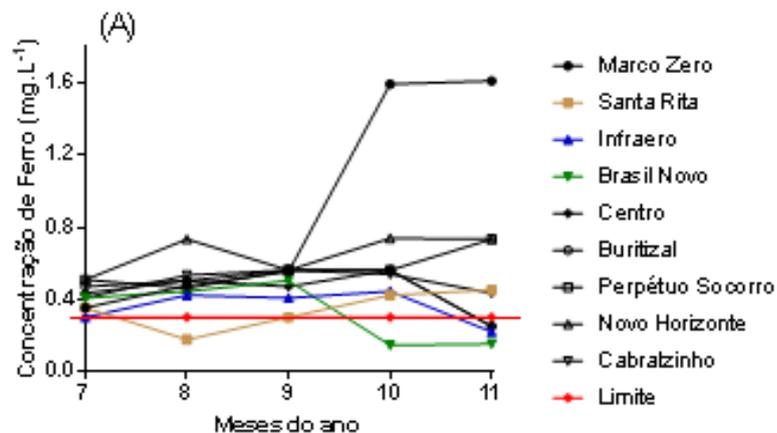
Fonte: Própria

Com relação à coleta de água dos pontos de abastecimentos dos demais bairros, foi possível observar que 100% dos pontos de coletas realizadas entre os meses 7, 8, 9, 10 e 11 de 2017. Apresentaram valores na concentração de Ferro

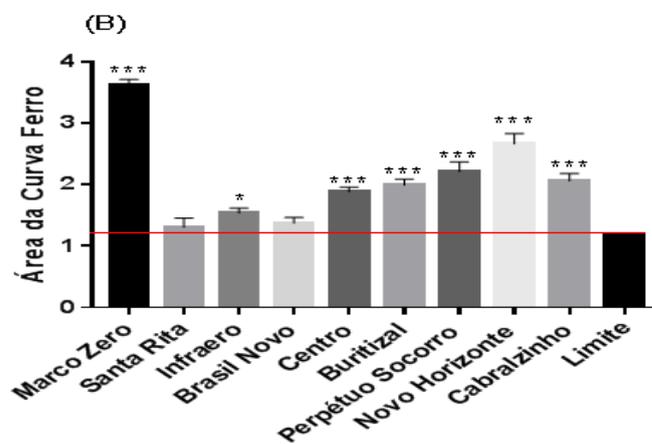
(Figura 7) acima dos limites preconizados pela resolução CONAMA 357/2005, segundo a legislação é permitido até no máximo 0.3 mg.L^{-1} para água de consumo, no entanto, as amostras dos diversos bairros, apresentaram valores variaram de $1,6144$ a $0,01527 \text{ mg.L}^{-1}$.

As análises da concentração de Ferro na água revelaram que não houve um período específico para as elevadas concentrações, em 70 % dos bairros essa concentração se manteve variando acima dos limites preconizados. Portanto, com base nos resultados referentes às amostras de água para o teor de Ferro, pode-se inferir que a água disponibilizada para a população encontra-se fora dos limites toleráveis para consumo. Nesta figura, o * ($p < 0.05$) e *** ($p < 0.001$).

Figura 7 - Concentração de Ferro em mg.L^{-1} . (A) Mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite.



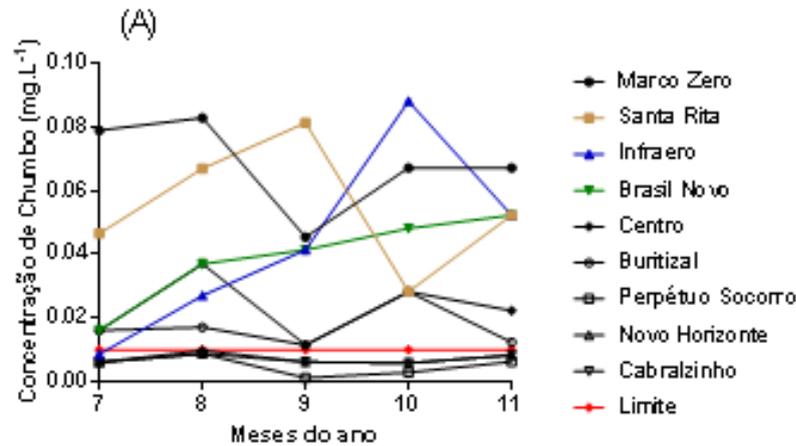
Fonte: Própria



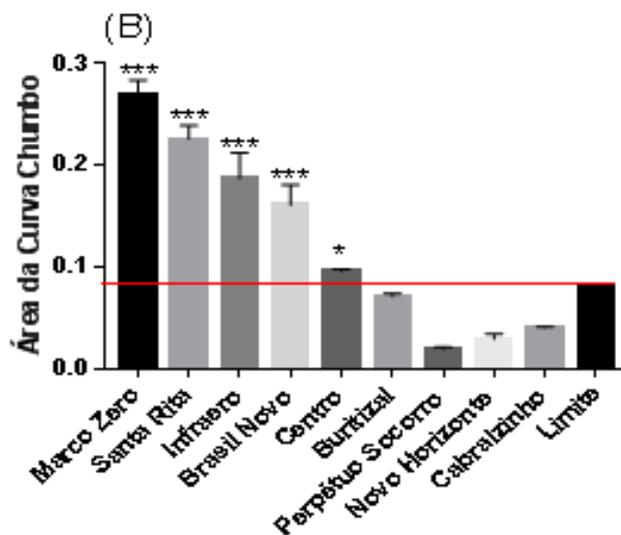
Fonte: Própria

Conforme pode ser observado na Figura 8, os valores para concentração de Chumbo variaram nos diferentes pontos de coleta dos bairros nos meses 7, 8, 9, 10 e 11 de 2017, com concentrações de 0.001 a 0,08 mg.L⁻¹, sendo considerado pela Resolução CONAMA 357/2005 o máximo permitido de 0,01 mg.L⁻¹. Pode-se inferir que 66.67 % das amostras estavam em desacordo com os limites permitidos para o teor de chumbo. Sendo, * (p<0.05) e ***(p<0.001).

Figura 8 - Concentração de Chumbo em mg. L⁻¹ (A) mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite.



Fonte: Própria

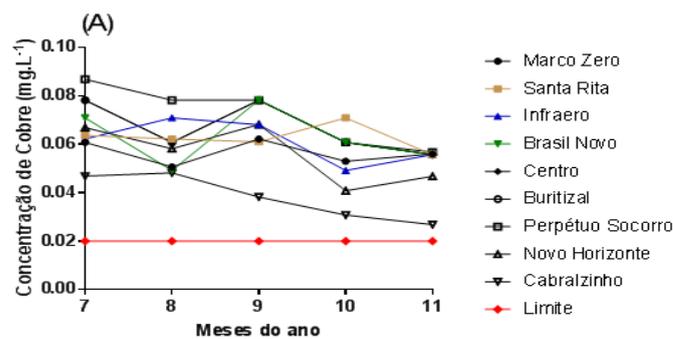


Fonte: Própria

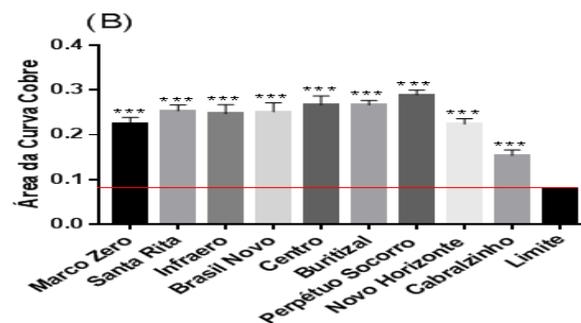
A partir dos resultados das análises verificou-se também que a concentração máxima de Chumbo nas amostras de águas foi observada no bairro Marco zero, com concentração de 0.08 mg.L^{-1} , além disso, os bairros Buritizal, Centro, Brasil Novo e Santa Rita do mesmo modo apresentaram valores superiores do que é permitido pela legislação. A partir dos resultados foi possível observar, bem como, que 44.43 % dos pontos de coletas dos bairros se encontravam com teores de chumbo nas amostras de águas dentro dos limites estabelecidos pela legislação, sendo os bairros Cabralzinho, Novo Horizonte e Perpétuo Socorro com valores variando entre 0.008 a 0.001 mg.L^{-1} .

Com base nos resultados das concentrações de cobre (Cu) nas amostras de água ao longo dos meses 7, 8, 9, 10 e 11 de 2017 (Figura 9), pode-se verificar que as concentrações variaram de 0.02 a 0.08 mg.L^{-1} nos diferentes pontos de coletas, sendo que o limite permitido pela legislação vigente é de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$. Inere-se que 100% dos pontos de coletas encontram-se com concentrações de Cobre superiores ao permitido pela legislação CONAMA 357/2005. Sendo, * ($p < 0.05$) e *** ($p < 0.001$).

Figura 9 - Concentração de Cobre em mg.L^{-1} . (A) Mensurados nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão com nível de significância comparado ao valor Limite.



Fonte: Própria

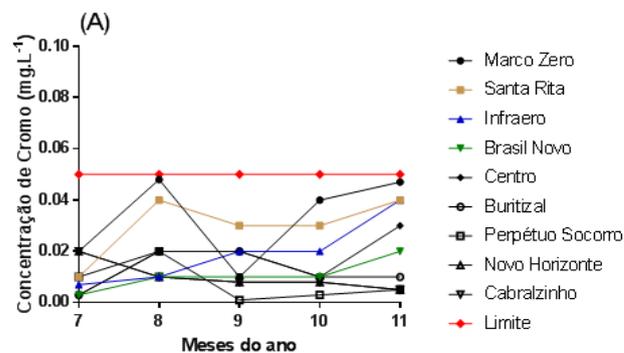


Fonte: Própria

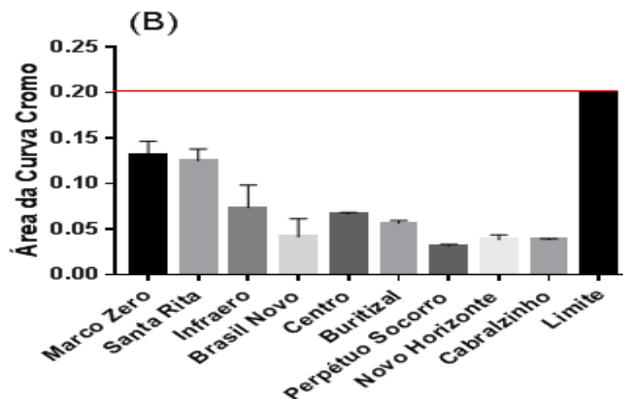
Dessa forma, o consumo de quantidades bem pequenas de cobre pode provocar náuseas, vômitos e diarreias, já grandes quantidades, podem danificar os rins, inibir a produção de urina e causar anemia devido à destruição de eritrócitos (anemia hemolítica), podendo até levar à morte.

Em relação às concentrações de Cromo (Cr) e dos valores obtidos das amostras de águas dos diferentes pontos (Figura 10) coletadas entre os meses 7, 8, 9, 10 e 11 de 2017, foi possível observar que 100 % das amostras encontram-se dentro do limite preconizado pela legislação. A concentração de Cromo nas amostras variaram de 0.001 a 0.05 mg.L⁻¹, com uma média de 0.03±0.002 mg.L⁻¹ de todos os pontos de coletas. Dessa forma, os resultados demonstraram que quanto ao teor de Cromo, os pontos de abastecimentos de água de Macapá satisfazem o que estabelece a Resolução 357/05 do CONAMA.

Figura 10 - Concentração de Cromo em mg. L⁻¹: (A) nas amostras dos diferentes bairros de Macapá. Em área sob a curva (B) os resultados expressam média e desvio padrão.



Fonte: Própria



Fonte: Própria

Diante dos resultados da avaliação da concentração dos metais nos diversos pontos de coletas de Macapá é possível observar o panorama das condições das águas disponibilizadas para a população amapaense. Nesse contexto, foi demonstrado que tanto as concentrações de Ferro, chumbo e Cobre, encontram-se em valores superiores ao que preconiza a Resolução 357/05 do CONAMA.

Concentrações elevadas de metais em água para consumo humano pode apresentar um sério risco para a saúde, pois sabe-se que muitos metais participam de diversas funções biológicas, pois existem determinadas quantidades que são essenciais para os sistemas biológicos e estas doses são tão pequenas que se designam por micronutrientes, como é o caso do zinco, do magnésio, do cobalto e do ferro. De outra maneira há metais que não possuem uma função definida no organismo e podem ser caracterizados como micro-contaminantes ambientais, como: Arsênio, Chumbo, Cádmio, Cromo, Mercúrio, Alumínio, Estanho e Tungstênio (BEZERRA, 2017).

O Chumbo, Cromo e o Cádmio são metais que não existem naturalmente em nenhum organismo, não desempenham funções nutricionais ou bioquímicas em microorganismos, plantas ou animais, porém são metais pesados que através dos alimentos e da água de consumo, contribuem para os casos de intoxicação prolongada ou crônica devido os efeitos bioacumulativos desses metais no organismo (ROCHA; DE AZEVEDO, 2017).

Dentre a maioria dos metais que podem ser tóxicos e encontrados em águas de consumo, o Chumbo é um dos que mais causa intoxicações, justamente pela sua capacidade de acumulação no organismo. O tempo de acumulação de doses tóxicas de Chumbo diminui proporcionalmente à sua ingestão, por exemplo: (i) a ingestão de 2,5 mg/dia demora cerca de 4 anos até se atingir uma carga tóxica e (ii) na ingestão de 3,5 mg/dia serão necessários apenas alguns meses para ser atingida uma carga tóxica (ROCHA, 2004).

Os efeitos tóxicos do Chumbo são inicialmente devidos à sua interferência no funcionamento adequado das membranas celulares e enzimas, causadas pela formação de complexos de chumbo e ligações contendo enxofre, fósforo, nitrogênio e oxigênio. O sistema nervoso, a medula óssea e os rins, são os órgãos alvo sensíveis à exposição por chumbo, pois são os alvos primários de acumulação e posteriormente que há acúmulo em outros locais do organismo (ROCHA, 2004; ROCHA; DE AZEVEDO, 2017).

O cobre é um elemento essencial aos organismos vivos em pequenas quantidades, porém quando ingerido com quantidade muito elevada pode promover toxicidade crônica primária afetando o fígado, pois é o local onde o cobre se acumula depois de entrar na circulação. Os sintomas nestes casos podem evoluir para coma, necrose hepática, colapso vascular e morte (ROCHA, 2004; ROCHA; DE AZEVEDO, 2017).

Uma das principais doenças provocadas pela toxicidade por Cobre é o cancro e Carcinogênese, pois estes resultam de uma série de acontecimentos moleculares que alteram as propriedades normais das células, sendo o que acontece quando as mesmas são atingidas por metais em concentrações elevadas. Esta relação é extremamente importante e essencial para compreender que metais são agentes desencadeadores de alguns tipos de Câncer (THEOPHANIDES; ANASTASSOPOULOU, 2002; SHEN *et al.*, 2015).

5 CONCLUSÃO

As amostras de água que foram retidas no ponto de captação da CAESA revelaram parâmetros físico-químicos e metais pesados acima dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, demonstrando que os sistemas de tratamento estão em uma situação precária e precisa de maiores investimentos para um tratamento adequado.

Com base nos resultados, foi constatado que na maior parte dos pontos de coleta o tratamento da água para abastecimento público apresenta uma grande deficiência no processo de conversação, pois, foi validado que a maioria das amostras das águas coletadas não se encontravam dentro dos limites recomendados pela legislação tanto nos valores dos parâmetros físico - químicos quanto da presença de metais pesados.

No Amapá há uma grande dificuldade em executar as normas exigidas pelas legislações em vigência pertinentes à qualidade da água para o uso humano. Este fato ocorre em virtude do sistema de distribuição ser antigo e sem tecnologia para uma melhor avaliação da qualidade, além disso, o desenvolvimento populacional e industrial aumentou significativamente em Macapá, favorecendo a chegada dos poluentes nos mananciais próximos ao centro de captação.

Espera-se que essa pesquisa preencha uma lacuna no conhecimento sobre os parâmetros físico - químicos e a existência de metais pesados que se apresentam no sistema de abastecimento público da cidade de Macapá. O qual pode auxiliar nas ações de diminuição da prevalência de doenças de veiculação hídrica na população da referida cidade.

Demonstra-se, portanto, que são necessários maiores investimentos na área de saneamento (coleta e tratamento), assim como nos processos de tratamento, distribuição e qualidade para que haja o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, para a promoção da saúde.

Conclui-se que, apesar dos avanços, há necessidade de mais estudos a respeito do monitoramento da qualidade da água e assim possibilitar previamente o grau de tratamento que esta deverá ser submetida para posterior armazenamento e distribuição à população de Macapá.

REFERÊNCIAS

- ABDUL, K. S. M., JAYASINGHE, S. S., CHANDANA, E. P., JAYASUMANA, C., DE SILVA, P. M. C. Arsenic and human health effects: A review. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 40, n. 3, p. 828-846, 2015.
- AKOTO, O., BISMARCK ESHUN, F., DARKO, G., ADEI, E. Concentrations and health risk assessments of heavy metals in fish from the Fosu Lagoon. **International Journal of Environmental Research**, v. 8, n. 2, p. 403-410, 2014.
- AL-JASSER, A. O. Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: Pipe service age effect. **Water research**, v. 41, n. 2, p. 387-396, 2007.
- ANDREOLI, C. V.; DE NADAI ANDREOLI, F.; DONHA, A. G.; KOTINDA, A. C. P. A relação da qualidade e quantidade da água no ambiente urbano e rural. **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável**. Curitiba, PR: SENAR, p. 488, 2014.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition, 1995**.
- BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. São Paulo. v. 4, n. 1. p 75-108. 2007.
- BEZERRA, ES. **Determinação de metais na água disponibilizada para consumo humano no município de Governador Valadares-MG**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Farmácia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 2005.
- CAMPOS, M. L. A. M.; BENDO, Anderson; VIEL, Fabíola C. Métodos de baixo custo para purificação de reagentes e controle da contaminação para a determinação de metais traços em águas naturais. **Química Nova**, v. 25, n. 5, p. 808-813, 2002.
- CAPOBIANCO, Joao Paulo Ribeiro; WHATELY, Marussia. Billings 2000: Ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo: **Relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99**. Instituto Socioambiental, 2002.
- 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**. Série de relatórios. Apêndice A. 2009.
- CHEBLI, D., BOUGUETTOUCHA, A., REFFAS, A., TIAR, C., BOUTAHALA, M., GULYAS, H., AMRANE, A. Removal of the anionic dye Biebrich scarlet from water by adsorption to calcined and non-calcined Mg–Al layered double hydroxides. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 46, p. 22061-22073, 2016.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resoluções do CONAMA 1984-2008, 2ª. Edição**, Brasília, 2005.

CRUZ NETO, B. F. **Benefícios da água com pH alcalino**: Saúde ou doença, você decide. Revista E.T.C do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia. v. 0, n. 14. 2016.

DA SILVA, L. J., DE REZENDE PINTO, F., DO AMARAL, L. A., & GARCIA-CRUZ, C. H. Biosorption of cadmium (II) and lead (II) from aqueous solution using exopolysaccharide and biomass produced by *Colletotrichum* sp. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, n. 40-42, p. 7878-7886, 2014.

DANIEL, M. H. B.; CABRAL, A. R. A Vigilância da qualidade da água para consumo humano (VIGIAGUA) e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM). **Cad. Saúde Colet**, v. 19, n. 4, p. 487-492, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. v.2. São Carlos: Rima. 2005.

FADEEL, BENGT; PIETROIUSTI, ANTONIO; SHVEDOVA, ANNA A. **Adverse effects of engineered nanomaterials: exposure, toxicology, and impact on human health**. Academic Press, 2017.

FARIAS, M. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. Tese de doutorado Universidade Federal de Campina Grande UFCG, Campina Grande, Paraíba - PB, 2006.

FITZHUGH, Thomas W.; RICHTER, Brian D. Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems. **AIBS Bulletin**, v. 54, n. 8, p. 741-754, 2004.

FÖRSTNER, ULRICH; WITTMANN, GOTTFRIED TW. **Metal pollution in the aquatic environment**. Springer Science & Business Media, 2012.

FUGE, RON. Anthropogenic sources. In: **Essentials of medical geology**. Springer, Dordrecht, 2013. p. 59-74.

HANJRA, MUNIR A.; QURESHI, M. EJAZ. Global water crisis and future food security in an era of climate change. **Food Policy**, v. 35, n. 5, p. 365-377, 2010.

HUNTER, PAUL R. Drinking water and diarrhoeal disease due to *Escherichia coli*. **Journal of water and health**, v. 1, n. 2, p. 65-72, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de geografia e estatística. **Banco de Dados Agregados, 2010**. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>.> Acesso em: 22 set 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Esgotamento sanitário inadequado e impactos na saúde da população**: Um diagnóstico da situação nos 81 municípios brasileiros com mais de 300 mil habitantes, nov. de 2010.

IQBAL, Muhammad. **An introduction to solar radiation**. Elsevier, 2012.

ISLAM, M. S., AHMED, M. K., RAKNUZZAMAN, M., HABIBULLAH-AL-MAMUN, M., ISLAM, M. K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 282-291, 2015.

LAAB. **Laboratório de Absorção Atômica e Bioprospecção**. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP. Macapá-AP, 2017.

LIBÂNIO, M. Tecnologias de Tratamento. In: **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água**. 3. ed, Campinas: Átomo, 2010. p. 135-137.

MAGOSSO, L. R.; BONACELLA, P. H. **Poluição das águas**. São Paulo: Moderna, 2008.

MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. **Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a portaria MS nº 518/2004: subsídios para implementação**. 2005. 91p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – MS. **Portaria Nº 518**, de 25 de março de 2004, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

MITTERMEIER, R. A., FARREL, T. A., HARRISON, I. J., UPGREN, A. J., BROOKS, T. M. Fresh water. **The essence of life. CEMEX and ILCP**, 2010.

MOORE, JAMES W.; RAMAMOORTHY, SUBRAMANIAM. **Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment**. Springer Science & Business Media, 2012.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Sanitária**. Rio de Janeiro. ABES. 5 ed. 2012. 524p.

OMS/UNICEF (WHO/UNICEF) Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. **Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update**. Switzerland; 2010. Acesso em 4 Maio 2013.

O'NEILL, R. R.; ALBIN R. W.; SPRAGUE, J. R.; STOREY, K.; NEWTON, J. S. (1997). **Functional assessment and program development for problem behavior: A practical handbook**. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.

Portal **Mapa Coordenadas geográficas**. Disponível em: <<http://www.mapcoordinates.net/pt>>. Acesso em 10 de Agosto de 2017.

QUEIROZ, A. C. L.; CARDOSO, L. S. D. M.; SILVA, S. C. F. D.; et al. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. **Saúde e Sociedade**, v. 21, p. 465-478, 2012.

RESOLUÇÃO n. 20, 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação e o enquadramento das águas doces, salobras e salinas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1986.

RESOLUÇÃO n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2005.

RICHARDSON, SUSAN D.; KIMURA, SUSANA Y. Water analysis: emerging contaminants and current issues. **Analytical chemistry**, v. 88, n. 1, p. 546-582, 2015.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Tratamento de água: tecnologia atualizada. In: **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Edgard Blucher, 2003.

ROCHA, C.H.B.; DE AZEVEDO, L.P. **Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil**. *Revista Espinhaço UFVJM*. 2017; 33-44.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução a Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SALNIKOW, K., ZHITKOVICH, A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium. **Chemical research in toxicology**, v. 21, n. 1, p. 28-44, 2007.

SENGUPTA, P., BANERJEE, R., NATH, S., DAS, S., BANERJEE, S. Metals and female reproductive toxicity. **Human & experimental toxicology**, v. 34, n. 7, p. 679-697, 2015.

SHEN F., CAI W.S., LI J.L., FENG Z., CAO J., XU B. The association between serum levels of selenium, copper, and magnesium with thyroid cancer: **a meta-analysis**. *Biological trace element research* 2015; 167(2): 225-235.

SILVA, LEANDRO JORGE; LOPES, LAUDICÉIA GIACOMETTI; AMARAL, LUIZ AUGUSTO. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 615-622, 2018.

SNIS - **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento** [homepage na internet]. Brasília (DF): Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; 2014. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 23 mar 2016.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos– Princípios do tratamento biológico de água residuária. Volumes 1, 3ª edição. **Editora Revista Belo Horizonte: DESA/UFMG**, 2005.

SPERLING, V. M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. Belo Horizonte, 2005.

TELLES, DIRCEU D.; COSTA, R. H. P. G. Reuso da água: conceitos, teorias e práticas. **São Paulo: Editora Blucher**, v. 2, 2007.

THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER – method 2540B, C D e E - edição online. Editorial revisions, 2011. Disponível em: <www.standardmethods.org>. Acesso em: 15 ago 2016.

THEOPHANIDES, T.; ANASTASSOPOULOU, J. **Copper and carcinogenesis**. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* 2002, 42(1): 57-64.

THORNTON, J. **Pandora's Poison Chlorine, Health and a New Environmental Strategy**. London, England: Met Press, 2000.

TOSTES, J. A. **O Desenvolvimento da Cidade de Macapá**. Disponível em: <<http://josealbertostes.blogspot.com.br/2017/06/o-desenvolvimento-da-cidade-de-macap.html>>, Acessado em 04 de jun de 2017.

WUANA, R. A.; OKIEMEN, F. E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. **Isrn Ecology**, v. 2011, 2011.

YOUNG, ROBERT O. **The pH miracle (O Milagre do ph)**. 5 ed., New York, Editora New York, NY : Warner Books, 2002.

ZORNOZA, R., ACOSTA, J. A., BASTIDA, F., DOMÍNGUEZ, S. G., TOLEDO, D. M., FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 173-185, 2015.

APÊNDICE A - FOTOS DE LOCAIS DE COLETA

P (10)



P (11)



APÊNDICE B- ARTIGO PUBLICADO E PREMIAÇÃO

Verificação do teor de ferro nas águas distribuídas à população de Macapá pelo sistema de abastecimento público

Giovanni Paulo Ventura Costa ¹, Helison de Oliveira Carvalho ², Ana Paula Santos Rodrigues ³

¹Administrador, Mestrando em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, Brasil. E-mail: giovannipavventura@hotmail.com *Autor para correspondência.

²Farmacêutico, Mestre em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, Brasil. E-mail: helison_ferns@hotmail.com

³Biomédica, Mestrando em Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, Brasil. E-mail: anapaula_ap@hotmail.com

