



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ALINE CHRISTINE SILVA DA SILVA

**MONITORAMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUA EM SERVIÇO DE DIÁLISE DE
UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
MACAPÁ/BRASIL**

MACAPÁ-AP

2025

ALINE CHRISTINE SILVA DA SILVA

**MONITORAMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUA EM SERVIÇO DE DIÁLISE DE
UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
MACAPÁ/BRASIL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amapá, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha.

MACAPÁ-AP

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

S586m Silva, Aline Christine Silva da.

Monitoramento e tratamento de água em serviço de diálise de unidade de tratamento intensivo localizada no município de Macapá/Brasil / Aline Christine Silva da Silva. - Macapá, 2025.

1 recurso eletrônico.

52 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2025.

Orientador: Alan Cavalcanti da Cunha.

Coorientador: .

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Tratamento da água. 2. Parâmetros. 3. Diálise renal. I. Cunha, Alan Cavalcanti da, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 628.162

SILVA, Aline Christine Silva da. **Monitoramento e tratamento de água em serviço de diálise de unidade de tratamento intensivo localizada no município de Macapá/Brasil**. Orientador: Alan Cavalcanti da Cunha. 2025. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2025.

DEDICATÓRIA

"Aos meus pais, que, apesar de não terem tido a chance de estudar como eu, me proporcionaram os recursos para que eu pudesse transcender a nossa realidade."

AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão e emoção, agradeço ao Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha, um mentor excepcional que durante todo o período do meu Trabalho de Conclusão de Curso, sua competência profissional, disciplina exemplar e paciência foram fundamentais. Sua dedicação em me guiar pelo caminho da pesquisa me inspirou profundamente e deixou uma marca imensurável em minha formação.

À Clínica Uninefro Amapá pela contribuição valiosa que permitiu a realização da presente pesquisa de forma livre e transparente. Nossa gratidão ao técnico de laboratório da clínica, o qual prestou todas as informações e esclarecimentos quanto à operação e monitoramento da ETAic, especialmente durante as fases de verificação e evolução do monitoramento.

Agradecimento ao apoio financeiro técnico do CNPQ (Processo N^o 314830/2021-9) e Projeto Tedplan (FUNASA TED 006/2018).

Estendemos nossos profundos agradecimentos ao colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amapá, pela minha formação, orientação acadêmica e suporte acadêmico.

RESUMO

O Estado do Amapá apresenta um dos indicadores mais precários de saneamento básico dentre os demais estados brasileiros, afetando diretamente o sistema de saúde pública. O presente estudo avalia o tratamento e o monitoramento da qualidade da água em uma estação de tratamento de água compacta e isolada (ETAc) em uma clínica de diálise, avaliando aspectos críticos da captação de água bruta, unidades operacionais e destino medicinal. O presente estudo fornece suporte básico à gestão e tomada de decisão frente aos riscos inerentes aos processos de tratamento da água visando segurança e a saúde dos usuários. O objetivo da pesquisa é avaliar a qualidade físico-química e microbiológica da água na ETAc em uma clínica de tratamento renal intensivo localizada no município de Macapá/Amapá/Brasil. O estudo consistiu das seguintes etapas metodológicas: a) uso de séries mensais de parâmetros da qualidade da água disponibilizada pelo setor de monitoramento da clínica, totalizando \approx 1100 análises individuais de diferentes parâmetros de metais, físico-químicos e microbiológicos previstos na legislação; b) avaliação da conformidade e eficiência do processo de tratamento da ETAc. Nas etapas de pós-osmose (PO) e solução de diálise (SD) foram incluídas a contagem de bactérias heterotróficas, pesquisa de patógenos, presença de endotoxinas e teor de metais (Al, Hg, Se, etc). Os resultados indicaram contaminação bacteriana em pelo menos 2 pontos de monitoramento, com presença de bactérias heterotróficas (HET). As concentrações de metais acima dos limites estabelecidos pela legislação foram encontradas em apenas 1,14% das amostras coletadas para o parâmetro Ca, extrapolando os limites legalmente permitidos. A condutividade elétrica apresentou não conformidade em 11,20% das amostras, seguido pelo pH (13,02%), cor (0,26%), cloro total (4,95%) e turbidez (0,52%). Todavia, não foram identificados não conformidades legais para os demais parâmetros analisados (Al, Sb, Ba, Be). Todos estes parâmetros foram comparados com os limites legais da RDC da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) 11/2014, que regulamenta os serviços de hemodiálise convencional no Brasil. Concluímos que os resultados evidenciam a importância do monitoramento da qualidade da água como instrumento básico de suporte à tomada de decisão da gestão operacional de ETAs. Além disso, serve como garantia de segurança da saúde dos pacientes diante dos processos críticos de tratamento da água. Assim, as evidências observadas expõem ainda uma mínima vulnerabilidade sanitária de sua operacionalidade atual.

Palavras-chave: Tratamento da Água; Parâmetros; Diálise Renal; Sistema Isolado; Saneamento Básico;

ABSTRACT

The state of Amapá has one of the most precarious indicators of basic sanitation among other Brazilian states, directly affecting the public health system. This study evaluates the treatment and monitoring of water quality in a compact and isolated water treatment plant (WTP) in a dialysis clinic, evaluating critical aspects of raw water collection, operational units and medicinal destination. This study provides basic support for management and decision-making regarding the risks inherent in water treatment processes, aiming at the safety and health of users. The objective of the research is to evaluate the physical-chemical and microbiological quality of water in the WTP in an intensive renal treatment clinic located in the city of Macapá/Amapá/Brazil. The study consisted of the following methodological steps: a) use of monthly series of water quality parameters made available by the clinic's monitoring sector, totaling \approx 1100 individual analyses of different metal, physical-chemical and microbiological parameters provided for in the legislation; b) evaluation of the compliance and efficiency of the WTP treatment process. The post-osmosis (PO) and dialysis solution (DS) stages included the counting of heterotrophic bacteria, pathogen research, presence of endotoxins and metal content (Al, Hg, Se, etc.). The results indicated bacterial contamination in at least 2 monitoring points, with the presence of heterotrophic bacteria (HET). Metal concentrations above the limits established by law were found in only 1.14% of the samples collected for the Ca parameter, exceeding the legally permitted limits. Electrical conductivity showed non-compliance in 11.20% of the samples, followed by pH (13.02%), color (0.26%), total chlorine (4.95%) and turbidity (0.52%). However, no legal non-compliances were identified for the other parameters analyzed (Al, Sb, Ba, Be). All these parameters were compared with the legal limits of the National Health Surveillance Agency (ANVISA) RDC 11/2014, which regulates conventional hemodialysis services in Brazil. We conclude that the results demonstrate the importance of water quality monitoring as a basic instrument to support decision-making in the operational management of WTPs. In addition, it serves as a guarantee of patient health safety in critical water treatment processes. Thus, the evidence observed also exposes a minimal sanitary vulnerability of its current operation.

Keywords: Water Treatment; Parameters; Renal Dialysis; Isolated System; Basic Sanitation;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - a) Mapa de localização do local de estudo. b) Visão aérea e frontal da Clínica de hemodiálise em Macapá/Brasil.....	5
Figura 2 - Fluxograma de tratamento e detalhamento dos equipamentos da ETAic do tipo de dupla filtragem e osmose reversa.....	8
Figura 3 - Fotografia da ETAic infraestrutura, disposição de equipamentos e estado de conservação do sistema da clínica de nefrologia.....	12
Figura 4 - Unidades amostrais para estudo da qualidade da água subterrânea em poços isolados na cidade Macapá-AP/Brasil.....	23
Figura 5 - Biofilme na tubulação.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros da qualidade da água monitorados mensalmente pela ETAic – Clínica de Macapá/Amapá/Brasil (2022 a 2024).....	6
Tabela 2 - Padrão de qualidade para água de hemodiálise estabelecido pela RDC nº 11/2022 (adaptado de RDC nº 11/2022).....	11
Tabela 3 - Resultado dos testes de hipóteses não-paramétricos de Friedman.....	14
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros da análise de metais da ETAic em 2022.....	16
Tabela 5 - Resultados dos parâmetros da análise de metais da ETAic em 2023.....	17
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros da análise de metais da ETAic em 2024.....	18
Tabela 7 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2022.....	19
Tabela 8 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2023.....	20
Tabela 9 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2024.....	20
Tabela 10 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2022.....	21
Tabela 11 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2023.....	22
Tabela 12 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2024.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	8
2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFICIÊNCIA OPERACIONAL.....	9
2.4 LIMITES LEGAIS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E METAIS.....	9
2.5 ETAic E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E COMPARAÇÕES COM A LEGISLAÇÃO.....	10
3 RESULTADOS.....	11
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ETAIC HD.....	11
3.2 CONFORMIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA COM AS NORMAS DA ANVISA.....	13
3.2.1 Metais.....	13
3.2.2 Físico-Químicos.....	16
3.2.3 Microbiológicos.....	18
4. DISCUSSÃO.....	21
4.1 METAIS.....	21
4.2 FÍSICO-QUÍMICOS.....	21
4.3 MICROBIOLÓGICO.....	25
5. CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS.....	28
ANEXO 1 - PLANILHA DE DADOS STDAH UNINEFRO AMAPÁ.....	35

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A hemodiálise (HD) é um tratamento de suma importância para pacientes com doença renal crônica (DRC) ou insuficiência renal aguda (IRA), situações em que os rins não conseguem eliminar os resíduos do metabolismo celular ou desempenhar suas funções reguladoras normais (Jesus et al., 2021). Por exemplo, endotoxinas são contaminantes comuns em soluções aquosas e fisiológicas, e sua detecção e remoção são fundamentais para garantir a segurança do paciente durante a HD, devido aos vários efeitos biológicos que podem causar. Ou seja, a qualidade inadequada da água utilizada na HD pode resultar em sérias complicações para os pacientes, incluindo reações inflamatórias, infecções e até mortalidade (Coulliette e Arduino, 2013).

Contaminantes como alumínio (Al), cloro (Cl) e endotoxinas podem causar endotoxemia e reações alérgicas, comprometendo a eficácia do tratamento e a saúde do paciente. Um agravante é que a presença de bactérias e outros microrganismos também pode levar a infecções sistêmicas graves. A conformidade com padrões rigorosos, como os estabelecidos pela *Association for the Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) e pela *International Organization for Standardization* (ISO), é essencial para prevenir tais complicações e garantir a segurança dos pacientes (Coulliette e Arduino, 2013).

A diálise renal é uma forma de terapia que substitui artificialmente a função renal, podendo ser realizada por meio de transplante ou por duas modalidades: diálise peritoneal e hemodiálise (Smeltzer et al., 2017). A HD consiste na filtração de resíduos do sangue por meio de uma máquina dialisadora, assumindo deste modo as funções normalmente desempenhadas pelos rins (Rocha; Barata; Braz, 2019). Então, como a água é um recurso essencial em hospitais e clínicas com unidades de HD, seu tratamento é uma das etapas mais críticas deste processo, pois a qualidade da água impacta diretamente em todas as fases do processo, necessitando de monitoramento sistemático e rigorosamente controlado para reduzir riscos à saúde de pacientes (Zanette et al., 2024).

Por outro lado, é sabido que os estados da Região Norte do Brasil têm sido considerados como os mais precários e carentes de investimentos em infraestruturas de saneamento básico comparados às demais regiões geográficas do país. Por exemplo, os estados do Acre, Amapá e Rondônia, detêm os piores indicadores de saneamento básico e de saúde na Amazônia (Viegas et al., 2024). O mapeamento realizado pelos referidos autores correlacionou estatisticamente 22 indicadores sanitários e 5 de saúde, concluindo que para

algumas variáveis de saúde e sanitárias ocorreram significativas correlações ($p < 0,05$), sendo Roraima o que mais avançou entre os ex-territórios federais em relação aos indicadores de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O ranking é seguido por Rondônia, Acre e, por último, o Amapá, sugerindo elevada desigualdade sanitária, mesmo entre estes estados e entre diferentes municípios desses estados (Araújo et al., 2021; Flores et al., 2022; Amanajás et al., 2024; De Sousa et al., 2024).

Em Macapá, capital do Estado do Amapá/Brasil, o problema sanitário é tão crítico que a fonte de captação de água da clínica de hemodiálise, objeto do presente estudo, é isolada e subterrânea. Isso porque a fonte de captação é localizada dentro da área privada da clínica de HD, operando atualmente sem nenhuma ligação externa com o sistema de abastecimento de água da atual concessionária (Companhia de Saneamento do Estado do Amapá – CSA) e a mesma problemática durante a gestão da concessionária anterior à CAESA (Companhia de Água e Esgoto do Amapá). Esse cenário permaneceu durante todo o processo de monitoramento da qualidade da água, cujas séries foram utilizadas no presente estudo. Portanto, a operação de captação e tratamento da água estudada é de caráter isolado (i) e de sistema compacto (c), doravante denominado de ETAic. Tais características têm sido um reflexo conjuntural atual de precariedade e significativa deficiência de infraestrutura sanitária local no Estado do Amapá, podendo ser considerado sistêmico, evidenciando deficiências graves nas quatro dimensões do saneamento básico: a) água de abastecimento (Araújo et al., 2021; Amaral e Cunha, 2022), b) esgotamento sanitário (Viegas et al., 2024; Medeiros de Abreu et al., 2024, De Sousa et al., 2024), c) águas pluviais e sistemas de drenagem (Sousa et al., 2022; Pacheco et al., 2023) e resíduos sólidos (Flores et al., 2022; Amanajás et al., 2022).

A situação do sistema de captação e tratamento de água (ETAic) é um reflexo e uma necessidade gerada pelo cenário de elevação de ameaças sanitárias referentes aos mananciais superficiais e subterrâneos, com a presença sistêmica de poluentes e contaminantes potenciais que poderiam eventualmente contaminar o manancial subterrâneo da ETAic (Grott et al., 2018; Sousa et al., 2022; Araújo et al., 2022). Em geral, os poluentes ou contaminantes são orgânicos e inorgânicos e de origem urbana, isto é, esgotos domésticos e águas pluviais poluídas. E, mesmo em quantidades mínimas, representam potenciais ameaças à saúde dos pacientes, gerando preocupações aos profissionais que atuam nessas áreas (Coulliette e Arduino, 2013; Faria, 2018; Grott et al., 2018).

Neste contexto, o monitoramento da qualidade da água é o principal fator de suporte aos serviços de diálise, sendo importante na comparação com resultados preconizados legalmente pela Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os parâmetros específicos

previstos na legislação também servem para avaliar o nível de eficiência do tratamento e de conformidade legal (gestão da ETAic). A temática dos sistemas de tratamento de água para fins de análise em saúde pública requer um aprofundamento da regulamentação existente. Tendo em vista que a implementação de regulamentação abrangente e aplicável em nível nacional tornaria o trabalho dos órgãos de fiscalização sanitária mais eficazes e garantiria mais segurança aos pacientes (Scavazini; Américo-Pinheiro, 2020; Bentes; Meschede, 2021; Zanette et al., 2024;).

Neste contexto, a principal hipótese da presente pesquisa é que os parâmetros físico-químicos, microbiológicos e dos metais pesados, estão em conformidade legal em pelo menos 95% das amostras das respectivas séries históricas, admitindo-se também que cada etapa de tratamento da ETAic apresenta diferenças significativas de eficiência. E, até onde é de nosso conhecimento, este estudo é inédito no âmbito acadêmico para o estado do Amapá.

A qualidade da água utilizada em sistemas de HD também pode ser influenciada ao longo das diferentes etapas de tratamento da água na ETAic (captação, desinfecção, distribuição e armazenamento). Portanto, para garantir que o programa de controle da qualidade da água seja efetivo nas clínicas de tratamento, é importante não apenas que a tecnologia utilizada e a distribuição sejam adequadas, mas também que o sistema de armazenamento da água tratada na clínica seja eficiente e seguro. Isto é, os cuidados tomados no tratamento da água na estação de tratamento serão comprometidos quando o armazenamento não é realizado corretamente (Drewes e Fox, 2000; Brasil, 2000).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar a qualidade da água bruta tratada e monitorada da ETAic em uma clínica localizada em Macapá/Amapá/Brasil, e analisar sua eficiência geral conforme os parâmetros estabelecidos pela RDC nº 154/2004 e RDC nº 11/2014 da ANVISA e Portaria GM/MS, nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a conformidade geral da série histórica da qualidade físico-química e microbiológica da água na ETAic ao longo de 25 meses (agosto de 2022 à agosto de 2024), na clínica de tratamento intensivo localizada no município de

Macapá/Amapá/Brasil;

- Elaborar múltiplas comparações estatísticas entre parâmetros metais, físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água (pH, Condutividade, *E. coli*, Metais, etc) ao longo das diferentes etapas de tratamento da ETAic ($p < 0.05$) e testar a significância estatística temporal para cada um dos diferentes parâmetros de qualidade da água (físico-química, metais e microbiológicas) nas mesmas etapas específicas de tratamento da ETAic ($p < 0.05$).
- Avaliar a eficiência e nível de conformidade legal nas diferentes etapas operacionais da ETAic de uma clínica de diálise.

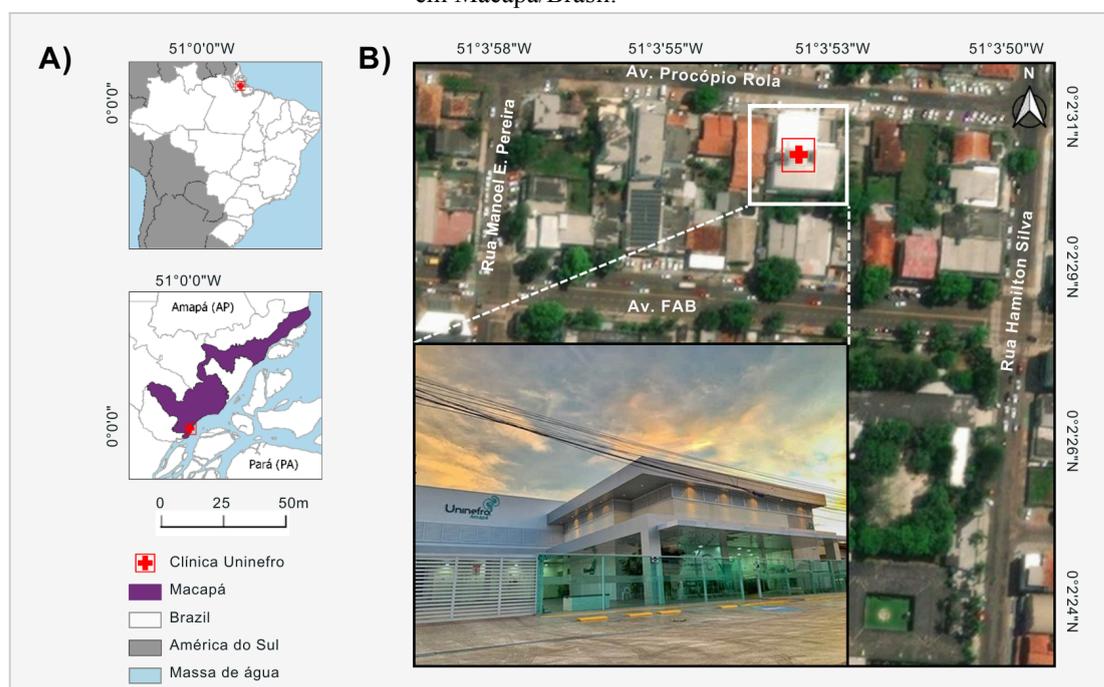
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O local de investigação foi a clínica de hemodiálise (HD) localizada na cidade de Macapá, no Estado do Amapá/Brasil. O período de estudo ocorreu entre agosto de 2022 a agosto de 2024. Neste período foram monitorados e analisados mensal e continuamente os parâmetros físico-químicos, metálicos e microbiológicos. As séries de dados dos parâmetros da qualidade da água foram gentilmente cedidos pela empresa Clínica Uninefro Amapá Ltda, estabelecida em Macapá em 2018. A empresa atua na área de Nefrologia e fornece os serviços de HD.

Durante as visitas à clínica foram livremente registrados, com permissão, todos os equipamentos utilizados no processo de tratamento da água de HD. A Figura 1 apresenta o mapa com a localização da clínica de HD onde está situada a ETAic em Macapá/Amapá/Brasil.

Figura 1 - a) Mapa de localização do local de estudo; b) Visão aérea e frontal da Clínica de hemodiálise em Macapá/Brasil.



Fonte: Autores (2025).

Nota: O quadrado branco faz referências à localização da clínica em relação à área urbana.

Os dados e as informações sobre cada uma das etapas operacionais e da qualidade da água bruta, ou obtidas nas distintas etapas de tratamento da ETAic, foram obtidos de relatórios mensais ao longo do período. Nestes relatórios mensais continham as informações

detalhadas sobre cada parâmetro da qualidade da água, conforme indicado na Tabela 1. Entre os dados relevantes destacamos a concentração de cloro total, condutividade elétrica, cor aparente, pH a 25 °C, turbidez, coliformes totais, contagem de bactérias heterotróficas (endotox), HET e a presença de Coliformes Termotolerantes Totais e *Escherichia coli*.

Tabela 1- Parâmetros da qualidade da água monitorados mensalmente pela ETAic – Clínica de Macapá/Amapá/Brasil (2022 a 2024).

Parâmetro	Justificativa para análise	Limites tolerados (RDC, 2014)
pH	Indica acidez ou alcalinidade da água; essencial para garantir a potabilidade e proteger a infraestrutura.	6,0 a 9,5
Cloro total (Cl)	Necessário para desinfecção e controle microbiológico da água.	Máximo: 0,1 mg/L
Alumínio (Al)	Altos níveis podem ser tóxicos e interferir no tratamento da água.	Máximo: 0,2 mg/L
Ferro (Fe)	Pode causar manchas e alterar o sabor da água; também afeta sistemas de tubulações.	Máximo: 0,3 mg/L
<i>E. coli</i>	Indica contaminação recente por fezes e risco de doenças de origem hídrica.	Ausente em 100 mL
HET	Contagem de bactérias heterotróficas para monitorar a qualidade microbiológica específica da água.	Máximo: 100 UFC/mL
Condutividade Elétrica	Mede a capacidade da água de condução de eletricidade, diminuindo a presença de sais distribuídos.	Variável, dependendo da origem da água
Turbidez	Avalia partículas suspensas na água, que podem abrigar microrganismos.	Máximo: 5 UNT
Cor aparente	Indica a presença de materiais orgânicos e inorgânicos que afetam a estética e a qualidade da água.	Máximo: 15 UH
Salinidade	Relacionado à concentração de sais, afetando a potabilidade e a corrosividade da água.	Máximo: 250 mg/L (Cloreto)
Nitrato (NO ₃)	Avaliação de contaminação agrícola ou esgoto, com riscos à saúde, como a metemoglobinemia.	Máximo: 10 mg/L
Flúor (F)	Importante para prevenção de cáries, mas em excesso pode causar fluorose. Este parâmetro atualmente não consta na legislação.	0,6 a 1,5 mg/L
Chumbo (Pb)	Metal pesado tóxico, com impactos na saúde humana, principalmente no sistema nervoso.	Máximo: 0,01 mg/L
Mercúrio (Hg)	Altamente tóxico, pode causar danos neurológicos e intoxicação crônica.	Máximo: 0,001 mg/L
Endotoxinas	Indicador de microrganismos gram-negativos, podendo causar febres e reações tóxicas.	Ausente em 100 mL

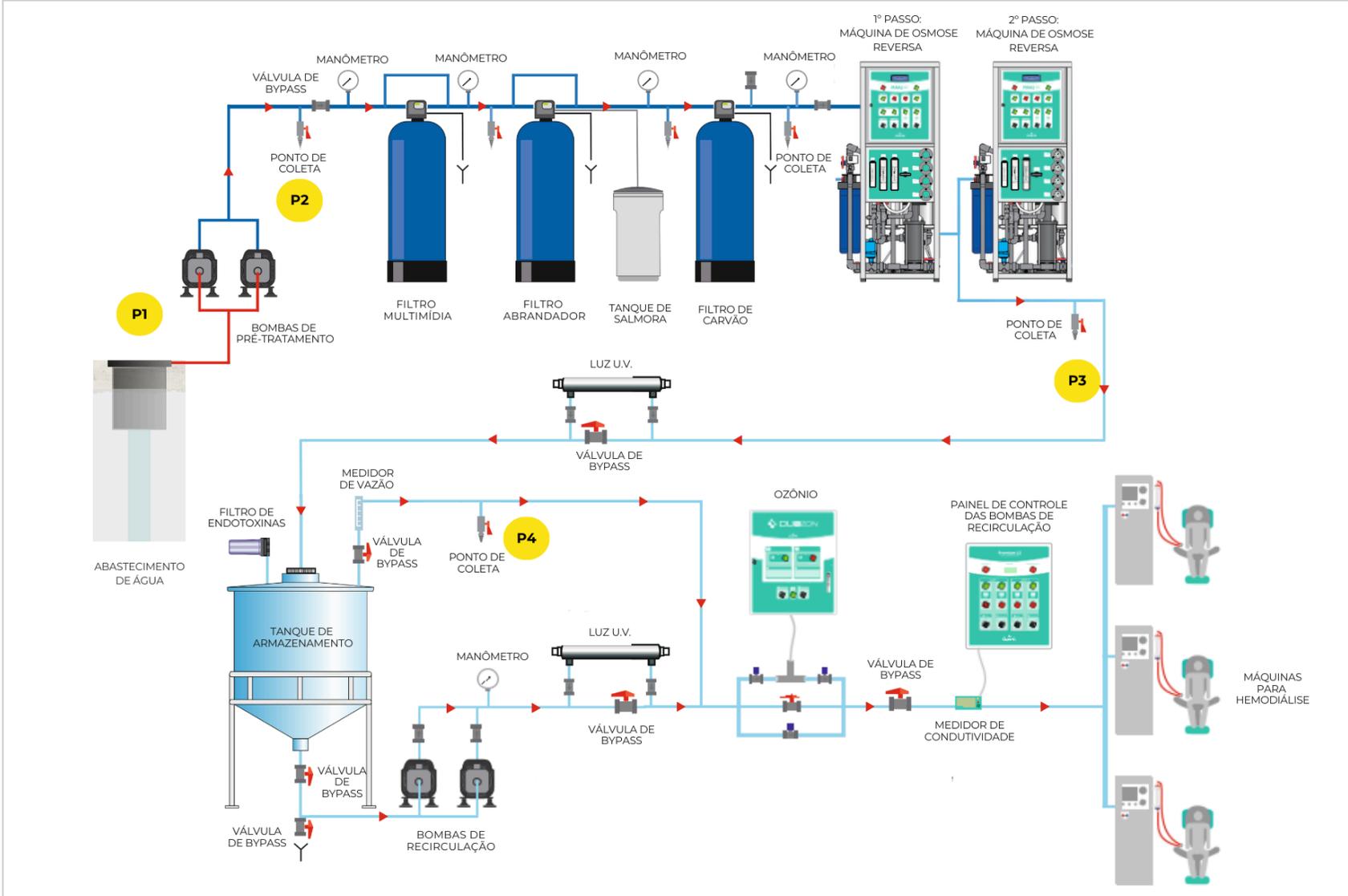
Fonte: Adaptado da RDC n.º11/2014.

Na lista geral de parâmetros físico-químicos e microbiológicos monitorados consta os seguintes: alumínio total (Al), antimônio total (Sb), bário total (Ba), berílio (Be), cádmio (Cd), Cálcio (Ca), cloro total (Cl), cobre (Cu), cromo(Cr), flúor(F), magnésio (Mg), mercúrio (Hg), nitratos (NO₃), potássio (K), prata (Ag), selênio (Se), sódio (Na), sulfato (SO₄), tântalo (Ta), zinco (Zn), cloro (Cl), Cério (Ce), cor aparente, ferro total (Fe), condutividade elétrica (EC), salinidade, turbidez, pH, coliformes totais, contagem de bactérias heterotróficas, *Escherichia coli* (Ecoli) e endotoxinas.

Na Figura 2 está representado didaticamente um fluxograma esquemático do processo de cada etapa de tratamento da água da ETAc. O fluxograma serve para visualizar os componentes operacionais críticos e representativos das fases de tratamento da água. Os pontos P_i que estão destacados em amarelo (i = 1, 2, 3, e 4) representam cada um dos pontos críticos do processo de captação e tratamento da água, a partir dos quais foram obtidas as séries de dados de monitoramento de qualidade da água da ETAc.

Os pontos críticos de monitoramento foram definidos da seguinte forma: P₁ indica o ponto de captação subterrânea (atualmente isolado da rede convencional de abastecimento da concessionária CSA). Portanto, o processo se inicia neste primeiro ponto, representando a captação da água diretamente de um poço tubular subterrâneo de aproximadamente 40 m de profundidade. O ponto P₂ indica o ponto de amostragem da qualidade da água antes do processo de tratamento iniciar. Isto é, onde a água entra efetivamente no sistema de pré-tratamento (STDAH), e que compreende a etapa destinada a remover partículas e impurezas que possam comprometer o funcionamento do sistema de osmose reversa posterior, garantindo que a água esteja adequada para o próximo passo. No ponto P₃ estão indicados os processos de filtração (estágios em série 1 e 2) e de osmose reversa (estágios em série 1 e 2). No ponto P₄ está indicado o ponto de utilização final da água, para fins medicinais da água tratada (diálise - HD).

Figura 2 - Fluxograma de tratamento e detalhamento dos equipamentos da ETAic do tipo de dupla filtragem e osmose reversa.



Fonte: Adaptado Saubern (2025).

Após o pré-tratamento de filtração e osmose reversa, a água segue do ponto P_3 , onde o sistema retira contaminantes dissolvidos e demais impurezas, resultando em água tratada e pronta para as demais aplicações específicas. No ponto P_4 a água tratada é submetida a dois outros processos para fins de certificação de desinfecção, após recirculação e passagem pelo tanque de armazenamento: a) ozonização e b) luz ultravioleta. Somente após estes dois últimos procedimentos é que a água tratada é direcionada para a máquina de hemodiálise (HD). Após todo o processo de tratamento indicado no fluxograma da Figura 2 estaria potencialmente assegurado que a água utilizada para o procedimento médico tenha a qualidade legalmente necessária, garantindo também a segurança dos pacientes durante o tratamento da hemodiálise (Zanette et al., 2024).

2.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

De acordo com o fluxograma da Figura 2, o processo de tratamento se inicia na captação de água subterrânea. O primeiro ponto de coleta (P_1) representa um poço isolado semi-artesiano tubular de aproximadamente 40 m de profundidade. Este manancial consiste em um sistema de captação de água subterrânea exclusivo para a clínica, garantindo que a água utilizada seja proveniente de uma fonte “protegida e controlada”. A água captada passa por uma análise inicial para verificar a presença de contaminantes como metais pesados, bactérias e outros componentes que possam comprometer a qualidade desde o início do processo (Zanette et al., 2024).

No segundo ponto de coleta (P_2), a água bombeada para o Sistema de Tratamento de Água para Hemodiálise (STDAH) passa pelo pré-tratamento. Esse pré-tratamento inclui processos como filtração, descloração e “amolecimento” (redução da dureza excessiva da água – Ca^{++} , Na^+ e Mg^+) e, que são necessários também para remover partículas suspensas e cloro livre. O objetivo da etapa 2 é proteger os componentes sensíveis dos sistemas de tratamento mais avançados, como a osmose reversa (primeira filtração em P_2). Em seguida a água é enviada para a unidade de osmose reversa (segunda filtração em P_3), que é um processo de purificação essencial para remover íons dissolvidos, bactérias, vírus e endotoxinas (HET), garantindo que a água atenda aos padrões rigorosos exigidos para hemodiálise (Zanette et al., 2024).

O terceiro ponto (P_3) representa a água pós-osmose-reversa, que já apresenta alta pureza e é adequada para uso em HD. No entanto, para garantir segurança máxima, a água passa por uma etapa final de desinfecção e controle microbiológico (P_3) antes de ser direcionada ao ponto de coleta (P_4). No ponto (P_4) há uma última verificação da conformidade

físico-química, de metais e microbiológicos de acordo com a (RDC, 2014), observando que ainda ocorrem os seguintes processos de tratamento: ação de luz ultravioleta e a ozonização da água, com o objetivo de garantir a eliminação de quaisquer patógenos potenciais na linha de distribuição de água da ETAic. Em seguida a água está pronta para ser utilizada no procedimento de HD e é fornecida diretamente à máquina de diálise (P₄), onde entrará em contato com o sangue do paciente.

É importante ressaltar que a água neste estágio final atenda às especificações de qualidade, pois qualquer contaminação residual (RDC, 2014) pode representar um risco significativo à saúde do paciente. A implementação do sistema de osmose reversa requer atenção especial ao pré-tratamento e à composição da água (Farrugia, 2013). O pré-tratamento é essencial para reduzir partículas e contaminantes que podem danificar a membrana ou a bomba de alta pressão (Frischkorn, 2016). A composição da água também é crucial, pois o processo de dessalinização concentra os sais, o que pode levar à saturação e geração de precipitados. E, caso ocorra precipitação, pode ocorrer incrustação de sais na membrana de osmose reversa e será necessária a limpeza química (Farrugia, 2013). Esses problemas podem provocar uma redução da vida útil dos equipamentos e gerar custos adicionais de manutenção ao longo de todo o processo de tratamento da ETAic.

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE DA ÁGUA E EFICIÊNCIA OPERACIONAL

Este tópico versa sobre uma série de testes e análises estatísticas desenvolvidas para avaliar o impacto de cada etapa de tratamento sobre a eficiência esperada da ETAic. Por exemplo, nós elaboramos inicialmente uma análise estatística descritiva, seguidas de testes de hipótese de normalidade (Shapiro-Wilk), homocedasticidade das variâncias e variação de resíduos, testes pareados de Wilcoxon para comparações não paramétricas de dupla entrada, além de testes de análises de regressões simples e múltiplas. Para este objetivo nós utilizamos o software R 4.0.3, tal como recomendado por Crawley (2007) e R Development Core Team (2020).

2.4 LIMITES LEGAIS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS E METAIS

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados na presente pesquisa foram os seguintes: alumínio total (Al), antônio total (Sb), bário total (Ba), berílio (Be), cádmio (Cd), Cálcio (Ca), cloro total (Cl), cobre (Cu), cromo (Cr), flúor (F), magnésio (Mg),

mercúrio (Hg), nitratos (NO₃), potássio (K), prata (Ag), selênio (Se), sódio (Na), ácido sulfúrico (SO₄), tântalo (Ta), zinco (Zn), cloro (Cl), Cério (Ce), cor aparente, ferro total (Fe), condutividade elétrica, salinidade, turbidez, pH, coliformes totais, contagem de bactérias heterotróficas, *Escherichia coli* (Ecoli) e endotoxinas.

A RDC nº 11/2022 apresenta um padrão de qualidade da água estabelecido de hemodiálise, conforme apresentado na Tabela 2, constando os limites recomendados da concentração de diversos elementos na água. Isso garante a segurança e o atendimento dos padrões de qualidade exigidos.

Tabela 2 - Padrão de qualidade para água de hemodiálise estabelecido pela RDC nº 11/2022

Parâmetro	Concentração máxima permitida (mg/L)	Parâmetro (Continuação)	Concentração máxima permitida (mg/L)
Alumínio (Al)	0,01	Fluoreto (F)	0,2
Antimônio (Sb)	0,006	Magnésio (Mg)	4
Arsênio (As)	0,005	Mercúrio (Hg)	0,0002
Bário (Ba)	0,1	Nitrato (NO ₃)	2
Berílio (Be)	0,0004	Potássio (K)	8
Cádmio (Cd)	0,001	Prata (Ag)	0,005
Cálcio (Ca)	2	Selênio (Se)	0,09
Chumbo (Pb)	0,005	Sódio (Na)	70
Cloro total (Cl)	0,1	Sulfato (SO ₄)	100
Cobre (Cu)	0,1	Tálio (Ta)	0,002
Cromo (Cr)	0,014	Zinco (Zn)	0,1

Fonte: Adaptado da RDC n.º11/22.

2.5 ETAic E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E COMPARAÇÕES COM A LEGISLAÇÃO

Na Figura 3 consta o registro fotográfico do sistema de tratamento da água ETAic para HD durante uma das visitas técnicas. Toda a operação de equipamentos, em especial a etapa de osmose reversa, está registrada nos relatórios como *Reverse Osmosis Pura-2*, da *Saubern*.

Figura 3 - Fotografia da ETAic infraestrutura, disposição de equipamentos e estado de conservação do sistema da clínica de nefrologia.



Fonte: Autores (2025).

Nota: Registro da fotografia em 11 de novembro de 2024, utilizando câmera Nikon Corporation Nikon Z 5.

Os relatórios mensais de qualidade da água foram disponibilizados pela gerência de monitoramento da clínica Uninefro Amapá, tabulados e posteriormente analisados estatisticamente. Os resultados foram confrontados com os parâmetros legalmente regulamentados a fim de verificar sua conformidade legal, onde foram especificados os limites máximos permitidos para contaminantes químicos e microbiológicos. A RDC nº 11/2014 da Anvisa estabelece que a água para diálise deve ser isenta de substâncias tóxicas e possuir um teor de endotoxinas inferior a 0,25 unidades endotóxicas por mililitro (EU/mL). Este limite evita riscos à saúde dos pacientes. Assim, a RDC nº 154/2007 define o regulamento técnico para o funcionamento dos serviços de diálise. Destaca-se que o risco à saúde dos pacientes submetidos à hemodiálise, associado ao uso de água potável nos procedimentos, é reduzido se estes critérios estabelecidos forem aplicados. A RDC está associada a rigorosos padrões de qualidade da água, tornando obrigatório o uso de técnicas de osmose reversa (Figura 2) para cumprir os requisitos mínimos de qualidade estabelecidos (Zanette et al., 2024).

Conforme apontado por Ribeiro, Sanches-Pagliaruss e Ribeiro (2016), as análises físico-químicas são ferramentas essenciais para o monitoramento da água utilizada em diálise, devendo ser realizadas regularmente para avaliar o desempenho das membranas de osmose reversa. De acordo com Scavazini e Américo-Pinheiro (2020), o tratamento de hemodiálise envolve o uso de grandes quantidades de água, necessitando de tratamento rigoroso e monitoramento contínuo.

Tanto a RDC nº 11/2014 quanto a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 atualizaram os parâmetros e os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, refletindo as diretrizes de segurança e qualidade que se aplicam também ao controle da água utilizada nos serviços de saúde. A Portaria GM/MS nº 888 definiu os valores máximos permitidos para uma ampla gama de substâncias químicas, microbiológicas e físico-químicas na água de abastecimento, que servem como referência para garantir a segurança do processo de tratamento, desde a captação da água bruta até o uso final na hemodiálise (Brasil, 2021; Zenette et al., 2024).

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA DA ETAIC HD

Os dados foram organizados e tabulados utilizando o software Excel como base de preparação para a etapa de análise estatística no software R-Project (R Core Team, 2022). Para cada parâmetro foi atribuída uma sigla de modo a facilitar a organização e compreensão da análise estatísticas descritiva e inferencial.

Na Tabela 3 estão indicados as aplicações dos testes de hipóteses para as séries temporais de cada parâmetro no período estudado (teste multicomparativo não-paramétrico de Friedman) (Crawley, 2007; Peternelli & Mello, 2007; R Core Team, 2022). A estatística descritiva foi representada pelas médias (medianas), desvio padrão, valores máximos e mínimos.

Os resultados mais evidentes foram então comparados com os limites estipulados pela RDC nº 11/2014 da Anvisa, para avaliar se a água utilizada no sistema de hemodiálise da clínica estava em conformidade com os padrões exigidos. Na Tabela 3 constam tanto os parâmetros que resultaram em algum grau de significância ($p < 0,05$), representados pelo símbolo “*” quanto os não significativos, representados por “NS”.

Tabela 3 - Resultado dos testes de hipóteses não-paramétricos de Friedman^{*(1,2)}.

Parâmetro	Medianas	Qui-quadrado de Friedman- χ^2	df (grau de liberdade)	p-valor
CIP1	0,01	20,5410	3	0,0001***
CIP2	0,21			
CIP3	0,01			
CIP4	0,01			
CondP1	420,0	50.8860	3	<0,001*
CondP2	396,00			
CondP3	7,36			
CondP4	7,7			
CorapP1	2	0,8182	1	NS
CorapP2	2			
EcoliP1	0	-	1	NS
EcoliP2	0			
HETP1	25	10,34	3	0,0160*
HETP2	1			
HETP3	1			
HETP4	1			
pHP1	4,975	44,88	3	<0,001***
pHP2	5,520			
pHP3	6,305			
pHP4	6,240			
TurbP1	1,5	0,33	1	NS
TurbP2	1,1			

*Nota¹: O Símbolo “**” indica significância em p-valor < 0.05, NS = Não-significativo e NA=Não analisado).

* Nota²: a seguinte simbologia foi aplicada somente para os parâmetro que resultaram em significância em cada etapa do tratamento da água na ETAic: **C1Pi** indica a concentração de cloro, **CondPi** indica a condutividade elétrica, **CorPi** indica a cor, **EcoliPi** indica a concentração de bactérias *E coli*/100mL, **HETPi** indica o número de células heterotróficas, **pHPi** o nível de acidez ou pH e **TubPi** indica o nível de turbidez.

3.2 CONFORMIDADE DA QUALIDADE DA ÁGUA COM AS NORMAS DA ANVISA

Para avaliar a conformidade da qualidade da água nos serviços de hemodiálise foi realizada uma análise sistemática das frequências positivas (conformidade) e negativas (não conformidade) dos parâmetros nos relatórios mensais fornecidos pela clínica de tratamento (monitoramento e análise das séries temporais). Os parâmetros de qualidade considerados incluíram os aspectos físico-químicos e microbiológicos estabelecidos pela RDC Anvisa nº 11/2014, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, e a Portaria nº 2.914/2011.

Os parâmetros analisados foram escolhidos com base nas exigências das regulamentações citadas. A RDC nº 11/2014 específica para água utilizada em hemodiálise, a qual deve ter concentração máxima de endotoxinas de 0,25 unidades endotóxicas por mililitro (EU/mL) e uma contagem bacteriana de até 100 unidades formadoras de colônia por mililitro

(UFC/mL). Nós consideramos os limites estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888 para metais pesados, tais como 0,01 mg/L para mercúrio, 0,2 mg/L para alumínio e 0,001 mg/L para chumbo, e para a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de 100 mL.

A análise dos relatórios foi realizada com base em amostras coletadas mensalmente, totalizando 836 amostras ao longo do período de agosto de 2022 a agosto de 2024. A conformidade dos parâmetros com as normas regulamentares foi verificada em cada amostra mensal. Além disso, foi sugerido o aumento da frequência de análise, considerando os critérios estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011, que recomenda a realização de monitoramento semanal em situações onde os resultados apresentem variações significativas ou proximidade com os limites regulamentares.

Os dados avaliados consideram as análises quanto à conformidade com os limites máximos permitidos, observando-se eventuais não conformidades e seus respectivos pontos de coleta, incluindo as operações de captação de água bruta, pré-tratamento, pós-osmose reversa e entrada da máquina de diálise. A análise dos relatórios considerou a frequência e a consistência dos parâmetros, identificando quaisquer tendências que pudessem indicar a necessidade de ajustes no sistema de tratamento ou na periodicidade das análises.

3.2.1 Metais

Os resultados das concentrações de metais revelaram que 98,86% dos parâmetros estavam em conformidade legal referente ao padrão de qualidade da água de hemodiálise estabelecido pela RDC nº 11/2014 e a Portaria MS 2.914/2011 888/2021. Estes resultados corroboram a principal hipótese de pesquisa. Isto é, houve conformidade com frequências superiores a 95% das amostras coletadas.

Ademais, os 1,14% restantes, em não conformidade, correspondem exclusivamente ao primeiro ponto (P₁) que representa o manancial subterrâneo (poço tubular isolado). Um dos parâmetros em não conformidade foi o cálcio (Ca) verificado tanto em novembro de 2023 quanto em maio de 2024, com valores superiores a 2 mg/L. Nas Tabelas 4, 5 e 6 constam estes valores destacados em negrito e a porcentagem de conformidade.

Tabela 4 - Resultados dos parâmetros da análise de metais da ETAic em 2022.

Parâmetros metais (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)	Parâmetros metais continuação (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)
Al	2	0.001 ± 0	0.2 ⁽²⁾		Fluoreto	2	0.1 ± 0	1.5 ⁽²⁾	
Sb	2	0.001 ± 0	0.006 ⁽¹⁾		Mg	2	1.1 ± 1.24	4 ⁽¹⁾	
As	2	0.005 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Hg	2	0.0002 ± 0	0.0002 ⁽¹⁾	
Ba	2	0.045 ± 0.02	0.7 ⁽²⁾		N	2	0.6 ± 0.806	10 ⁽²⁾	
Be	2	0.0001 ± 0	0.0004 ⁽¹⁾	100	K	2	1.155 ± 1.619	8 ⁽¹⁾	100
Cd	2	0.001 ± 0	0.003 ⁽²⁾		Ag	2	0.0035 ± 0.002	0.005 ⁽¹⁾	
Ca	2	1.65 ± 0.49	2 ⁽¹⁾		Se	2	0.001 ± 0	0.04 ⁽²⁾	
Pb	2	0.002 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Na	2	23.8 ± 32.88	200 ⁽²⁾	
Cl total	2	0.0355 ± 0.05	0.1 ⁽¹⁾		Sulfato	2	3.5 ± 3.536	250 ⁽²⁾	
Cu	2	0.0045 ± 0.01	2 ⁽²⁾		TI	2	0.001 ± 0	0.002 ⁽¹⁾	
Cr	2	0.001 ± 0	0.05 ⁽²⁾		Zn	2	0.07 ± 0	5 ⁽²⁾	

Nota: ⁽¹⁾ Nota: ⁽¹⁾ RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA);

⁽²⁾ Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros da análise de metais da ETAic no ano de 2023.

Parâmetros metais (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)	Parâmetros metais continuação (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)
Al	4	0.005 ± 0.002	0.2 ⁽²⁾		Fluoreto	4	0.1 ± 0	1.5 ⁽²⁾	
Sb	4	0.001 ± 0	0.006 ⁽¹⁾		Mg	4	3.5 ± 1	4 ⁽¹⁾	
As	4	0.005 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Hg	4	0.00017 ± 5	0.001 ⁽²⁾	
Ba	4	0.055 ± 0.013	0.7 ⁽²⁾	100	N	4	0.5 ± 0.48	10 ⁽²⁾	
Be	4	0.0001 ± 0	0.0004 ⁽¹⁾		K	4	0.73 ± 1.20	8 ⁽¹⁾	
Cd	4	0.001 ± 0	0.003 ⁽²⁾		Ag	4	0.005 ± 0	0.005 ⁽¹⁾	
Ca	4	2.125 ± 0.629	2 ⁽¹⁾	75	Se	4	0.001 ± 0	0.04 ⁽²⁾	100
Pb	4	0.002 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Na	4	35.9 ± 40.86	200 ⁽²⁾	
Cl total	4	0.02 ± 0.02	0.1 ⁽¹⁾	100	Sulfato	4	1.3 ± 0.5	250 ⁽²⁾	
Cu	4	0.055 ± 0.013	2 ⁽²⁾		TI	4	0.001 ± 0	0.002 ⁽¹⁾	
Cr	4	0.001 ± 0	0.05 ⁽²⁾		Zn	4	0.07 ± 0	5 ⁽²⁾	

Nota: ⁽¹⁾ RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS N.º 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 6 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2024.

Parâmetros metais (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)	Parâmetros metais continuação (mg/L)	Quantidade de amostras	Média ± dp (mg/L)	VMP ⁽¹⁾	Em conformidade (% amostras)	
Al	2	0.009 ± 0	0.2 ⁽²⁾	100	Fluoreto	2	0.1 ± 0	1.5 ⁽²⁾	100	
Sb	2	0.001 ± 0	0.006 ⁽¹⁾		Mg	2	4 ± 0	4 ⁽¹⁾		
As	2	0.005 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Hg	2	0.0002 ± 0	0.001 ⁽²⁾		
Ba	2	0.08 ± 0.01	0.7 ⁽²⁾		N	2	2.1 ± 2.66	10 ⁽²⁾		
Be	2	0.0001 ± 0	0.0004 ⁽¹⁾		K	2	1.71 ± 2.40	8 ⁽¹⁾		
Cd	2	0.001 ± 0	0.003 ⁽²⁾		Ag	2	0.005 ± 0	0.005 ⁽¹⁾		
Ca	2	3.5 ± 2.12	2 ⁽¹⁾		50	Se	2	0.001 ± 0		0.04 ⁽²⁾
Pb	2	0.002 ± 0	0.01 ⁽²⁾		Na	2	42.5 ± 55.86	200 ⁽²⁾		
Cl total	2	0.02 ± 0.01	0.1 ⁽¹⁾		100	Sulfato	2	7.5 ± 9.19		250 ⁽²⁾
Cu	2	0.065 ± 0.02	2 ⁽²⁾		TI	2	0.001 ± 0	0.002 ⁽¹⁾		
Cr	2	0.001 ± 0	0.05 ⁽²⁾	Zn	2	0.47 ± 0.56	5 ⁽²⁾			

Nota: ⁽¹⁾ RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

3.2.2 Físico-Químicos

A análise físico-química contida nos relatórios de qualidade da água indicou que 70,05% dos parâmetros avaliados estavam em conformidade com a norma vigente. Por outro lado, os 29,95% restantes não cumpriram os critérios estabelecidos pela Resolução RDC nº 11/2014. Dentre os que se destacaram, em geral, a condutividade elétrica correspondeu a 11,20% de não conformidades nos pontos (P₁), que representa poço isolado e (P₂), isto é, água bombeada para o Sistema de Tratamento de Água para Hemodiálise (STDAH) no período amostral. Conforme indicado nas Tabelas 7 e 8, os valores mais restritivos de conformidade observados foram a condutividade elétrica da água, respectivamente, com 52,63% no ponto P₁ em 2023 e no ponto P₂ com 52,17% no ano de 2024.

O parâmetro cloro total registrou 4,95% de não conformidades, correspondentes a agosto de 2022 no ponto P₁, e nos meses de setembro, outubro e novembro no ponto P₂. Em 2023, o mesmo ocorreu em janeiro, no ponto P₁, e em janeiro, março e de junho a novembro, no ponto P₂. Em março e maio de 2024 ocorreu no ponto (P₁) e nos meses de fevereiro, março, junho e agosto no ponto P₂. O parâmetro turbidez foi 0,52% em janeiro e outubro de 2023 no ponto P₁ (Tabela 8).

O parâmetro cor aparente foi mais crítica em agosto de 2022 no ponto P₁ (Tabela 7), resultando em 0,26% de não conformidades (acima de 15 uH), isto é, fora da norma estabelecida pela Portaria MS 2.914/2011 888/2021.

O parâmetro pH registrou 13,02% de não conformidades, correspondentes ao ponto P₁, em fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e dezembro de 2023. O mesmo ocorreu em fevereiro, maio, junho, agosto, outubro, novembro e dezembro no ponto P₂. Entretanto, ocorreram também não conformidades em dezembro de 2024, nos pontos P₃ e P₄. O mesmo resultado ocorreu, no ponto P₁, nos meses de janeiro a agosto, e no ponto P₂, em janeiro, fevereiro, março, maio, junho, julho e agosto de 2024. Além disso, a mesma sequência de resultados ocorreu nos pontos P₃ e P₄, em janeiro, fevereiro, março, maio, junho e julho de 2024.

Tabela 7 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2022.

Parâmetros Físico-químicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Em conformidade (% amostras)
Cloro total (mg/L)	20	0,20 ± 0,39	0,24 ± 0,29	0,03 ± 0,04	0,02 ± 0,03	0,1 ⁽¹⁾	-	80
Condutividade elétrica (µS/cm)	19	280,4 ± 107,32	277,8 ± 117,49	8,3 ± 1,13	8,3 ± 0,76	10 ⁽¹⁾	-	52,63
Cor aparente (uH)	9	8,6 ± 10,69	2 ± 0	-	-	Incolor	15 ⁽²⁾	88,89
Salinidade	1	275 ± 0	-	-	-	-	-	-
Turbidez (uT)	9	1,6 ± 0,89	1 ± 0	-	-	-	5 ⁽²⁾	100
pH a 25°C	19	5,70 ± 1,06	6,36 ± 0,27	6,70 ± 0,34	6,72 ± 0,26	6 - 9,5 ⁽¹⁾	6 - 9 ⁽²⁾	78,95

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2023.

Parâmetros Físico-químicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Em conformidade (% amostras)
Cloro total (mg/L)	46	0,07 ± 0,18	0,38 ± 0,34	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,04	0,1 ⁽¹⁾	-	86,96
Condutividade elétrica (µS/cm)	46	472,4 ± 108,23	457,9 ± 77,76	7,27 ± 0,81	8,05 ± 0,71	10 ⁽¹⁾	-	52,17
Cor aparente (uH)	22	6,2 ± 5,67	3,4 ± 2,29	-	-	Incolor	15 ⁽²⁾	100
Ferro (mg/L)	2	0,04 ± 0,04	-	-	-	-	0,3 ⁽²⁾	100
Salinidade	2	0,3 ± 0	-	-	-	-	-	-
Turbidez (uT)	21	4,2 ± 3,42	2,7 ± 1,71	-	-	-	5 ⁽²⁾	90,48
pH a 25°C	45	5,01 ± 0,46	5,54 ± 0,61	6,48 ± 0,50	6,37 ± 0,56	6 - 9,5 ⁽¹⁾	6 - 9 ⁽²⁾	57,78

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros da análise físico-química da ETAic em 2024.

Parâmetros Físico-químicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Em conformidade (% amostras)
Cloro total (mg/L)	31	0,08 ± 0,12	0,21 ± 0,20	0,03 ± 0,04	0,02 ± 0,02	0,1 ⁽¹⁾	0,1 ⁽¹⁾	80,65
Condutividade elétrica (µS/cm)	31	357,3 ± 280,95	246,6 ± 249,48	7 ± 1,76	6,1 ± 1,16	10 ⁽¹⁾	-	61,29
Cor aparente (uH)	15	3,6 ± 3,54	5 ± 4,04	-	-	Incolor	15 ⁽²⁾	100
Turbidez (uT)	15	2,3 ± 1,39	2,4 ± 1,62	-	-	-	5 ⁽²⁾	100
pH	31	4,68 ± 0,44	4,75 ± 0,67	5,67 ± 0,58	5,68 ± 0,70	6 - 9,5 ⁽¹⁾	6 - 9 ⁽²⁾	12,90

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

3.2.3 Microbiológicos

Os resultados da análise microbiológica que constam dos relatórios da água da ETAic indicaram que os parâmetros apresentaram em sua quase totalidade conformidade legal da qualidade da água. Este indicador foi da ordem de 97,46%, e de acordo com a Resolução

RDC n° 11/2014 e a Portaria GM/MS 888, de maio de 2021. Por outro lado, os 2,54% restantes não atenderam aos requisitos legais. Isso corresponde principalmente aos resultados dos parâmetros de bactérias heterotróficas (HET, até 100 UFC/mL). Estes registros ocorreram em dezembro de 2022, maio de 2023, julho de 2023 e junho de 2024, especificamente no primeiro ponto P₁. Do mesmo modo, as bactérias heterotróficas (HET) apresentaram não conformidade no ponto de entrada do pré-tratamento P₂, entre agosto de 2022 e julho de 2023. Assim, embora 100% dos resultados do parâmetro endotoxinas no ponto de água pós-osmose reversa (P₃), estivessem em conformidade legal (até 0,25 EU/mL), esses resultados mostraram-se muito semelhantes ao longo dos 25 meses de estudo (Tabelas 10, 11 e 12). Todavia, este cenário nos pareceu probabilisticamente inesperado.

As Tabelas 10, 11 e 12 resumem os dados registrados dos parâmetros microbiológicos nos períodos de 2022, 2023 e 2024. Os valores de conformidade microbiológica das amostras que se adequaram ao padrão de potabilidade exigido pela Resolução RDC n° 11/2014 e a Portaria GM/MS 888, de maio de 2021 estão marcados em negrito. Destaca-se que há uma maior quantidade de amostras em 2023, e que os dados apresentam resultados favoráveis em sua maioria no quesito conformidade com as normas vigentes.

Tabela 10 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2022.

Parâmetros Microbiológicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ^(2,3)	Em conformidade (% amostras)
Contagem de bactérias heterotróficas	20	47,4 ± 50,78	164,8 ± 294,97	6,2 ± 7,16	14,2 ± 24,43	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	500 UFC/mL ⁽³⁾	95
Coliformes totais	20	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	Ausência em 100mL ⁽²⁾	100
<i>E. coli</i>	10	0 ± 0	0 ± 0	-	-	-	Ausência em 100mL ⁽²⁾	
Endotoxinas (EU/mL)	5	-	-	0.25 ± 0	-	0.25 ⁽¹⁾	-	

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021; Portaria n.º 2.914, de dezembro de 2011; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 11 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2023.

Parâmetros Microbiológicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ^(2,3)	Em conformidade (% amostras)
Contagem de bactérias heterotróficas	48	137,20 ± 252,61	62,50 ± 197,76	9,4 ± 23,74	22,8 ± 25,66	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	500 UFC/mL ⁽³⁾	93,75 100
Coliformes totais	48	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	Ausência em 100mL ⁽²⁾	
<i>E. coli</i>	24	0 ± 0	0 ± 0	-	-	-	Ausência em 100mL ⁽²⁾	
Endotoxinas (EU/mL)	13	-	-	0.25 ± 0	-	0.25 ⁽¹⁾	-	

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021; Portaria n.º 2.914, de dezembro de 2011; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

Tabela 12 - Resultados dos parâmetros da análise microbiológica da ETAic em 2024.

Parâmetros Microbiológicos	Quantidade de amostras	Média ± dp (P ₁)	Média ± dp (P ₂)	Média ± dp (P ₃)	Média ± dp (P ₄)	VMP ⁽¹⁾	VMP ^(2,3)	Em conformidade (% amostras)
Contagem de bactérias heterotróficas	32	80,4 ± 195,40	89,8 ± 220,13	3,4 ± 6,72	1,1 ± 0,35	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	500 UFC/mL ⁽³⁾	93,75 100
Coliformes totais	32	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	Ausência em 100mL ⁽¹⁾	Ausência em 100mL ⁽²⁾	
<i>E. coli</i>	16	0 ± 0	0 ± 0	-	-	-	Ausência em 100mL ⁽²⁾	
Endotoxinas (EU/mL)	8	-	-	0.25 ± 0	-	0.25 ⁽¹⁾	-	

Nota: ⁽¹⁾RDC n.º11 de 13 de março de 2014 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - (ANVISA); ⁽²⁾ Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021; Portaria n.º 2.914, de dezembro de 2011; dp=Desvio Padrão; VMP= Valor máximo permitido. Fonte: Autores (2025).

4. DISCUSSÃO

4.1 METAIS

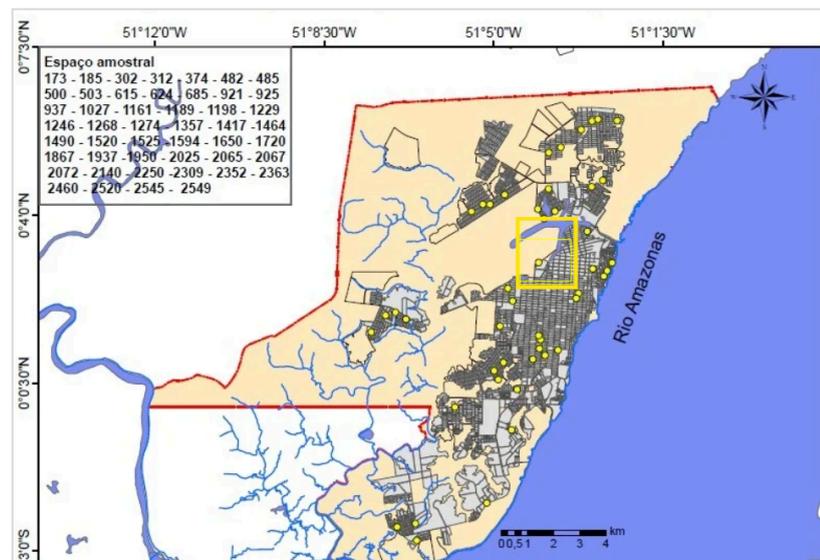
A respeito dos metais, apesar de que no ano de 2022 os registros de análise de conformidade com as normas estabelecidas, os valores sucederam a (100%) para todas as amostras analisadas, sem nenhuma inconsistência. Todavia, em 2023 e 2024, somente o

parâmetro cálcio (Ca) mostrou valores abaixo de 100%. Estes resultados correspondem apenas às amostras do primeiro ponto P₁, no qual temos a água do poço semiartesiano.

Estudos anteriores, como o desenvolvido por Abdalla et al. (2010), realizaram uma análise da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio da água subterrânea de poços no município de Rosário no estado do Maranhão, cujos valores de íons cálcio no período chuvoso variaram entre 4,81 mg/L e 30,06 mg/L.

Da Silva et al. (2023) observaram valores mais elevados de concentração de cálcio na água de poços subterrâneos no município de Vitória da Conquista, localizado no estado da Bahia, com concentrações variando entre 2,1 mg/L e 200 mg/L. Os resultados apresentados nas referências citadas superaram as do presente estudo para este íon. Isto é, às concentrações observadas no poço semiartesiano da ETAic, com concentrações máximas de cálcio (Ca) variando entre 3 mg/L e 5 mg/L. No entanto, temos que levar em consideração que a qualidade da água analisada no poço da ETAic apresentou restrição de não distinguir as amostras ao longo de diferentes estações do ano, como o que pode ser ilustrado anteriormente pelos autores, uma vez que isso é um fator determinante na influência de divergências de valores ao longo das análises. Todavia, é sabido por outros estudos da literatura que os parâmetros da qualidade da água subterrânea em Macapá apresentam significativa sazonalidade (Grott et al., 2018).

Figura 4 - Unidades amostrais para estudo da qualidade da água subterrânea em poços isolados na cidade de Macapá-AP/Brasil.



Fonte: Grott, 2018.

Nota: Pontos em amarelo no mapa representam os poços subterrâneos monitorados em Macapá-AP. Quadrado amarelo no mapa representa a área aproximada da clínica de hemodiálise, áreas conhecidas tradicionalmente desprovidas de rede de abastecimento de água da concessionária CSA.

4.2 FÍSICO-QUÍMICOS

Durante a análise dos dados observou-se que o parâmetro de cloro total foi examinado em dois relatórios distintos, um no relatório de parâmetros metais e outro no relatório físico-químico. Com essa descoberta, tornou-se possível comparar os valores dos meses e pontos mencionados na duplicata e examinar uma eventual correspondência entre eles. No entanto, tratava-se de amostras diferentes coletadas no mesmo dia para os mesmos pontos, resultando em valores diferentes.

Com esse fato tivemos que em dezembro de 2022, no relatório de metais, os valores identificados foram 0,001 (mg/L) no ponto P₁ e 0,07 (mg/L) no ponto P₃, em contrapartida para a nossa surpresa no mesmo mês e ano, no relatório de análise físico-química, os resultados de cloro total foram de 0,01 (mg/L) em P₁ e 0,01 (mg/L) em P₃. Situação semelhante ocorreu em maio de 2023, onde o cloro total no ponto P₁, para a análise de metais, foi igual a 0,05 (mg/L). Por outro lado, na análise físico-química, o mesmo ponto apresentou um valor de 0,01 (mg/L). Em novembro do mesmo ano, o ponto P₃ apresentou um valor de 0,01 (mg/L) na análise de metais, enquanto na análise físico-química este valor foi de 0,04 (mg/L). Em maio de 2024 os registros mostraram 0,01 (mg/L) em P₁ e 0,03 (mg/L) em P₃, em relação aos metais. Todavia, foram observados valores diferentes, com 0,03 (mg/L) no ponto P₁ e 0,01 (mg/L) no ponto P₃.

Embora tenha ocorrido tal episódio, os valores estavam dentro das normas estabelecidas e foi importante para comparação entre amostras. Deve-se destacar também que, há poucos estudos na literatura que contemplam o valor de cloro total adotado na Resolução RDC nº 11/2014 para fins de análise estatística. Contudo, estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS) citam esse parâmetro onde os valores da concentração máxima são permitidos.

No que diz respeito à condutividade elétrica, este parâmetro representou um dos maiores índices de não conformidade na análise físico-química da pesquisa. Esses números se referem à água do poço semiartesiano. No entanto, observou-se uma queda significativa nos valores da condutividade elétrica nos pontos P₃ e P₄, os quais estavam em acordo com a RDC nº11/2014 de até 10 (µS/cm), mostrando que as diversas fases durante o tratamento da água impactam na sua qualidade, justificando a causa da discrepância dos valores entre os referidos pontos. Muito embora tenha a limitação de não encontrar autores que discutam sobre a elevada condutividade elétrica na água de poços usada para o tratamento de água para a hemodiálise, existem estudos que discutem sobre valores elevados para o parâmetro mencionado em diferentes abordagens.

Vasconcelos et al. (2019), analisando a aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região nordeste do Brasil, classificou três níveis de comportamento da condutividade elétrica na coluna d'água de um poço tubular. O primeiro na faixa 25 a 36 m (287 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 497 $\mu\text{S}/\text{cm}$), cujos valores são próximos ao encontrado no presente estudo mas, em contrapartida, superiores na segunda faixa no nível de 38 a 25 m (995 e 1.082 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e a terceira no nível de 55 a 59 m (1.082 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 5.565 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Segundo os autores, os valores elevados na condutividade elétrica podem estar relacionados com a variação da profundidade da lâmina d'água do poço.

No ponto de vista de Da Silva et al. (2021) que também observaram valores elevados em pelo menos cinco amostras da água de poços, cujas concentrações variaram entre 310,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 1898 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no povoado Alegria, localizado na zona rural do município de Teresina no estado do Piauí, isso ocorre pelo fato de existir uma relação direta entre os valores elevados de condutividade elétrica da água e a concentração de sólidos totais dissolvidos presentes nela. À medida que a quantidade de sólidos dissolvidos na água aumenta, espera-se que a condutividade elétrica também aumente proporcionalmente.

Encontrando valores menores que os autores anteriores, Lages et al. (2022) observaram valores de condutividade elétrica entre 9,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 406,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em amostras de água coletadas na Bacia Hidrográfica do Educandos no município de Manaus – AM, sendo encontrados valores semelhantes aos monitorados na ETAic-AP. Segundo os autores, os maiores índices para o parâmetro estavam relacionados ao recebimento de cargas de esgoto muito intensas em reduzido volume de água de diluição, indicando uma forte influência da poluição nas amostras analisadas. Por outro lado, os menores valores de condutividade elétrica foram associados a uma amostra coletada em um local bem arborizado e protegido de dejetos domésticos ou industriais. Essa proteção contribuiu para a manutenção da qualidade da água, resultando em níveis mais baixos de condutividade. A diluição e concentração das águas das fozes também influenciaram os resultados, levando à observação de valores menores de condutividade elétrica nessas amostras. Isso sugere que fatores ambientais e a presença de vegetação podem ter um papel importante na qualidade da água (Grott et al., 2018; Sousa et al., 2022).

Em relação à salinidade, as amostras do poço semiartesiano da ETAic coletadas no ponto P₁, indicam uma variação significativa nos níveis de salinidade ao longo do tempo. Em setembro de 2022, foi registrado um valor alarmante de 275 (%), enquanto em janeiro e agosto esse valor caiu para aproximadamente 0,3 (%). Devido ao fato de ser água subterrânea a variável de salinidade aparentemente não foi considerada para fins comparativos. Além

disso, não apresentou uma unidade de medida específica como referência legal. Muito embora a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 classifique águas doces, estas possuem salinidade igual ou inferior a 0,5%. As águas salobras possuem salinidade entre 0,5% a 30% e as salinas apresentam valores igual ou superior a 30%. Essa mudança drástica sugere a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água do poço. Desta forma, no presente estudo, o valor registrado em setembro de 2022 classificaria essa amostra de água como salina, o que pode ter implicações significativas para o seu uso. Estes resultados também podem sugerir erros prováveis de análises.

O parâmetro cor aparente é um importante indicador da qualidade da água, refletindo a presença de possíveis contaminantes. No ponto P₁, em apenas uma única amostra de agosto de 2022, a concentração excedeu o limite permitido pela Portaria MS 2.914/2011 888/2021. Lima et al. (2024) estudaram a qualidade da água em poços semi-artesianos no Distrito de Santo Antônio do Matupi em Manicoré/AM, observando um valor elevado de 22,1 uH. Isto, segundo os autores citados, essa superação limite é um sinal de alerta para a qualidade da água uma vez que seria um indicador da necessidade de investigação aprofundada para identificar a fonte da alteração desse indicador.

Na presente pesquisa, a turbidez foi analisada apenas nos pontos P₁ e P₂. Neste sentido, em janeiro e outubro de 2023 ocorreu não conformidade apenas nas amostras do ponto P₁. As concentrações para a turbidez foram da ordem de 10 e 11 uT. Entretanto, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, estabelece 5 uT como valor máximo permitido (VMP) para a turbidez. Segundo o estudo realizado por Silva et al. (2021), em análise de águas subterrâneas da região oeste do estado de Santa Catarina, as amostras analisadas no município de Luzerna a turbidez ultrapassou o valor máximo em 1,14 vezes. De acordo como os referidos autores, isso pode ser devido ao fato do poço apresentar pouca profundidade e está próximo a área de lavoura.

Em se tratando do indicador pH, sendo responsável pelos maiores índices de não conformidade com a norma em todos os anos do presente estudo com porcentagem de não conformidade superior a 70% no ano de 2024. Em síntese, observou-se variações de não conformidades de valores de pH entre 5,70 a 6,72 no ano de 2022, entre 5,01 a 6,37 no ano de 2023, e valores menores que dos anos anteriores para 2024, variando entre 4,68 a 5,68. Mesmo na fase de osmose reversa e na fase de distribuição, onde a água deveria ser considerada potável ou apropriada para esta finalidade. Segundo os critérios estabelecidos pela Resolução RDC nº 11/2014 para pH entre 6 a 9,5 estaria imprópria para consumo humano e tratamento de hemodiálise.

Santana et al. (2021) analisaram amostras da água distribuídas para consumo humano no estado do Amazonas a partir do sistema de informações de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano (Sisagua), e encontraram valores de pH inferiores a 6 com mediana de 5,78. Os referidos autores afirmam que a acidez da água está associada à concentração de substâncias orgânicas solúveis e menor presença de minerais na água.

Ainda em relação ao parâmetro pH, Ferreira et al. (2021) observaram valores mínimos de 4,80 no período seco e o máximo de 6,30 no período chuvoso em poços rurais do município de Humaitá – AM. Segundo os referidos autores, esses valores podem ser explicados pela presença de gás carbônico dissolvido e devido à alcalinidade, resultado da lixiviação do solo e rochas pelas chuvas.

4.3 MICROBIOLÓGICO

Observou-se que apenas as bactérias heterotróficas estavam em desacordo com a legislação vigente, tendo em vista que os maiores índices estavam presentes apenas para os pontos P₁ e P₂, variando entre concentrações de 520 UFC /mL a 800 UFC/ mL. Em contraste com as expectativas anteriores, concentrações para os pontos P₃ e P₄, variaram entre 1 UFC/mL e 84 UFC m/L, não apresentando nenhuma alteração.

A presença dessas bactérias na água é um indicativo de contaminação originada de fontes não fecais. Situação que não apenas compromete a potabilidade da água, mas também pode levar a problemas de corrosão e formação de biofilmes nas tubulações (Figura 5), além de sugerir falhas no sistema de armazenamento e proximidade com locais onde há descarte de resíduos orgânicos (Gomes de Siqueira et al., 2022).

Figura 5 - Biofilmes na tubulação.



Fonte: BBI Filtração.

Ao analisar a potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano, Gomes de Siqueira et al., (2022), constataram a presença de bactérias

heterotróficas em poços os quais apresentam valores entre 43 UFC/mL a < 1000 UFC/mL. Reis Santos et al., (2024), analisando a água de poços artesianos no município de Itabaiana, estado de Sergipe, encontraram valores entre 276 UFC/mL e até superiores a 6000 (UFC/mL). Assim, os referidos autores justificam que a presença significativa de contaminação sugere que a quantidade de cloro residual livre não foi adequada para a erradicação dos microrganismos detectados e oriundos da falta de saneamento básico.

Os resultados demonstram um padrão consistente de conformidade para os parâmetros microbiológicos sendo possível confirmar que os índices foram em sua maioria positivos. Tanto que alguns percentuais de conformidade foram indicados em até 100% nos demais parâmetros analisados (Tabelas 10, 11 e 12).

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, embora a maioria dos parâmetros estivessem em conformidade com as normas estabelecidas ($> 95\%$ da frequência amostral), foi possível confirmar as hipóteses de pesquisa levantadas. Isto é, de que o monitoramento indicou alta confiabilidade e eficiência da ETAic. Entretanto, ocorreram inconsistências quanto às similaridades excessivas de alguns dados e informações. Isto é, resultados com elevada frequência e acima do probabilisticamente esperado para frequências aleatorizadas. Neste aspecto, eram esperadas semelhanças significativas em apenas pequena parte da série histórica monitorada. Isto é, deveria ocorrer diferenças significativas pelo menos entre diferentes períodos sazonais, com a influência do período chuvoso, transição ou seco, haja vista que a baixa profundidade do poço (da ordem de 40 m) muito provavelmente sofre influência do lençol freático.

Nestes casos, em relação às hipóteses levantadas, especialmente considerando-se as seguintes situações: a) a qualidade da água do poço seria “muito estável”, a ponto de que a maioria dos parâmetros apresentaria valores ou concentrações frequentemente constantes (muito repetidos), repercutindo na “constância excessiva ou inesperada” observada da maioria dos valores e padrões da qualidade da água monitorados; b) apesar da relativamente baixa profundidade do poço do manancial de captação subterrânea (até 40 m), é ainda possível supor baixa variabilidade e elevada capacidade de proteção da fonte de água na situação atual, o que atua em favor da segurança; c) em última análise, poderia ter ocorrido inconsistências e/ou falhas técnicas ou erros sistemáticos na condução experimental de coleta e monitoramento da qualidade da água.

Deste modo, a constância sistemática observada ao longo de das séries históricas dos parâmetros poderia se caracterizar nas seguintes conclusões: a) a elevada frequência repetida

pode estar relacionada com o nível de detecção limite dos equipamentos de medida, causando frequentes valores iguais; b) possível evidência de inconsistências ou falhas sistemáticas do monitoramento, servindo também como um "alerta" para se impor uma melhoria da frequência de coleta de contra-prova das diferentes etapas de análise da qualidade da água. Isso poderia, em tese, reduzir inconsistências e/ou potenciais falhas, conseqüentemente, reduzindo riscos inerentes ao monitoramento e à gestão da qualidade da água para uma aplicação tão nobre como a hemodiálise.

De modo geral, o sistema mostrou-se robusto e potencialmente seguro em face de sua rigorosa e eficiente capacidade de tratamento (ETAic). A infraestrutura e o monitoramento de cada etapa de tratamento foram considerados suficientes para a manutenção da conformidade legal da qualidade da água, cuja frequência foi superior à 95% do total das amostras para os parâmetros físico-químicos (pH, cor, Turbidez, metais, etc) e microbiológicos (coliformes totais e E. coli, e heterotróficos (HET).

Por outro lado, o fato do sistema ETAic ser considerado isolado, sem o benefício de um manancial regular da rede de abastecimento de água da Concessionária de Saneamento do Amapá (CSA), exigiu um considerável esforço técnico e de investimento para viabilizar operações de eficientes de tratamento da água subterrânea com a segurança e proteção necessária à sua operação. Neste caso, observamos que, se o manancial subterrâneo natural fosse substituído pela água de abastecimento público da concessionária, haveria espaço para diversas melhorias da qualidade da água de entrada da ETAic (manancial). Além disso, os prováveis custos operacionais, infraestruturais e de manutenção atuais, reduziriam sobremaneira os potenciais riscos e a vulnerabilidade frente à eficiência de tratamento da ETAic.

Em resumo, é possível concluir que os custos econômicos, técnicos e ambientais da ETAic, na forma como é operada atualmente, provavelmente estão relacionados com a qualidade do manancial subterrâneo e os riscos potenciais que ele oferece. Não somente isso, mas também com o contexto geral de saneamento básico existente no município de Macapá/Amapá. Além disso, este cenário parece também repercutir não somente na atual conjuntura do saneamento básico e saúde pública no município de Macapá, mas provavelmente de outros municípios do Estado-membro do Amapá/Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, K. V. P.; CAVALCANTE, P. R. S.; COSTA NETO, J. P.; BARBIERI, R.; MESQUITA NETO, M. C. Avaliação Da Dureza E Das Concentrações De Cálcio E Magnésio Em Águas Subterrâneas Da Zona Urbana E Rural Do Município De Rosário-MA. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>.
- ARAÚJO, E. P.; BRITO, A. U.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. Indicadores de abastecimento de água e doenças de transmissão hídrica em municípios da Amazônia Oriental. *Engenharia Sanitária e Ambiental (online)*, v. 26, p. 1059-1068, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020017>.
- AMANAJÁS, L.; MOCHIUTTI, S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. *Discarding and final destination of açaí in the Oriental Amazon - Brazil. Ambiente & Sociedade*, v. 25, p. 1-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc2020138r2vu2022L2OA>.
- AMARAL, J. P. S.; CUNHA, A. C. Qualidade da água em diferentes fases operacionais da Estação de Tratamento de Água de Macapá. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 13, p. 1-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.006.0010>.
- ABREU, C. H. M. de; ARAÚJO, E. P.; CUNHA, H. F. A. F. de A.; TEIXEIRA, M.; CUNHA, A. C. da. Domestic sewage dispersion scenarios as a subsidy to the design of urban sewage systems in the Lower Amazon River, Amapá, Brazil. *PeerJ*, v. 12, e16933, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16933>.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 2000, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, D.F., 29 de dezembro de 2000. Seção 1.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 154, de 15 de junho de 2004. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*, Brasília, DF, 2004. Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos Serviços de Diálise.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*, Brasília, DF, 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450.

Acesso em: 13 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Ministério da Saúde do Brasil, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Também define os parâmetros e limites máximos permitidos para substâncias químicas, microbiológicas e radioativas na água, além de regulamentar as ações de monitoramento e fiscalização.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 11, de 13 de março de 2014. *Agência Nacional de Vigilância Sanitária*, Brasília, DF, 2014. Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Diálise e dá outras providências.

BENTES, Valeria; MESCHÉDE, Marina Smidt Celere. Qualidade da água utilizada em serviços de hemodiálise antes e após passar por sistema de tratamento em Santarém, Oeste do Pará, Amazônia. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 80, p. 1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.53393/rial.2021.v.80.37246>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021. Disponível

em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>.

Acesso em: 28. out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União: seção I*, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-3175376100>>. Acesso em: 13 out. 2024.

BBI FILTRAÇÃO. Bioincrustação – Desafios e Estratégias para Prevenção em Sistemas de Tratamento Osmose Reversa e Nanofiltração. Disponível em: <[Bioincrustação – Desafios e Estratégias para Prevenção em Sistemas de Tratamento Osmose Reversa e Nanofiltração - BBI Filtração](#)>. Acesso em: 15 abr. 2025.

COULLIETTE, A. D.; ARDUINO, M. J. (2013). Hemodialysis and water quality. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 8(5), 852-862. DOI: <https://doi.org/10.1111/sdi.12113>.

DREWES, J. E.; FOX, P. Effect of drinking water sources on reclaimed water quality in water reuse systems. *Water Environ. Res.*, v. 3, p. 353-362, May/Jun. 2000. DOI: <https://doi.org/10.2175/106143000X137581>.

DE SOUSA, B. R. A.; ARAÚJO, E.P.; SOUSA, T.S; DEUS OLIVEIRA, A. L.; NETO, J. J. S.; DE ABREU, C. H. M.; DA CUNHA, A. C. Pre-dimensioning and technical, economic and environmental feasibility analysis of sub-river outfalls in Macapá and Santana cities, Amapá State, Brazil. *J Coast Conserv* 28, 50 (2024). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11852-024-01049-y>.

FARRUGIA, B. Membranas de osmose reversa:aplicações e novidades. *Revista TAE, Brasil*, v.3, n.15, out/nov, p. 10-14, 2013. Disponível:<[FRISCHKORN, H. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará.Fortaleza, Recife: *Revista Tecnologia*, v. 30, n. 1, p. 61-76, 2016. Disponível em:<<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/5277/4127>>. Acesso em: 28. out. 2024. Acesso em: 28. out. 2024.](https://www.revistatae.com.br/Artigo/540/membranas-de-osmose-reversa-aplicacoes-e-novidades-do-mercado#:~:text=Semiperme%C3%A1veis%2C%20as%20membranas%20de%20osmose,compostos%20salinos%20que%20est%C3%A3o%20dissolvidos.>>.</p>
</div>
<div data-bbox=)

FARIA, P. G. S. D. Avaliação do reaproveitamento dos efluentes gerados por sistema de tratamento de água para hemodiálise. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Engenharia Civil, Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3387/1/CT_PPGECC_M_Faria%2c%20Paulo%20Gil%20Siqueira%20de_2018.pdf>. Acesso em: 26. out. 2024.

FERRON, M. M.; KUNO, R.; CAMPOS, A. E. M. D.; CASTRO, F. J. V. D.; GOUVEIA, N. Níveis sanguíneos de cádmio, chumbo e mercúrio em trabalhadores de centros de reciclagem em São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, p. e00072119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00072119>.

FERREIRA, L. A., PIMENTEL, E. T.; DA SILVA, R.B.P.; ALMEIDA SANTOS, A. Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 721-729, 2021.

FLORES, C. A. R.; DA CUNHA, A.C.; CUNHA, H.F.A. Solid waste generation indicators, per capita, in Amazonian countries. *Environ Sci Pollut Res* 29, 33138–33151 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18509-3>.

GUIMARÃES, D. S. Controle de endotoxina na indústria farmacêutica – análise dos métodos in vivo e in vitro [dissertação na Internet]. Rio de Janeiro (RJ): Instituto de Tecnologia em Fármacos – Farmanguinhos; 2017.

GROTT, S. L.; FURTADO, R. N.; FACANHA, E. B.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá-AP, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, p. 645-654, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018162018>.

GOMES DE SIQUEIRA, C.; LIMA, T. M.; SANTOS, M. dos. Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 35, n. 3, p. e-30112, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30112>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/30112>. Acesso em: 12 mar. 2025

JESUS, P.R.D.; FERREIRA, J. A. B., CARMO, J. D. D.; ALBERTINO, S. R. G.; VICENTINI NETO, S. A.; SANTOS, L. M. G. D.; ZAMITH, H. P. D. S. Monitoramento da qualidade da água utilizada em serviços de diálise móvel em unidades de terapia intensiva do município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Nefrologia** , v. 44, n. 1, p. 32-41, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-8239-JBN-2020-0217>.

- LAGES, A. D. S.; MIRANDA, S. Á. F.; DOURADO, S. A.; ABREU, A. C. D.; BRINGEL, S. R. B; FERREIRA, S. J. F; SILVA, M. L. D. Parâmetros físicos (temperatura, condutividade elétrica e turbidez) na avaliação de corpos de água impactados na área urbana da cidade de Manaus, AM. 2022.
- MENDONÇA, J. C. D. S. Análise da Qualidade da Água em uma Escola Pública na Cidade de Morrinhos-GO. 2017.
- MADIGAN, M. T., BENDER, K. S., BUCKLEY, D. H., SATTLEY, W. M., & STAHL, D. A. Brock Biology of Microorganisms, 15th ed, p. 71-74, 2018.
- PINHEIRO, C. ARAÚJO, A.; AMORIM, M.; MOREIRA, A.; CONDEÇO, J. Caracterização microbiológica de águas utilizadas em hemodiálise, 2010.
- PETRUF, L. A.; SACCO, V. A.; LUCIO, L. C. Oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e condutividade elétrica como parâmetros físico-químicos da água do ribeirão Morangueira, Maringá/PR, 2011.
- PACHECO, C.; SOUZA, T.; ARAÚJO, E.; CUNHA, A. Dimensioning Urban Drainage Systems in Housing Subdivisions in the Amazon Using Different Hydrological Models. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, v. 11, p. 151-170, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4236/gep.2023.1111012>.
- RAMIREZ, S. S. Água para hemodiálise no estado do Rio de Janeiro: uma avaliação dos dados gerados pelo programa de monitoramento da qualidade nos anos de 2006-2007. 2014.
- RIBEIRO, L.; SANCHES-PAGLIARUSSI, M.; RIBEIRO, J. Reutilização da sobra de água permeada e de rejeito de uma central de tratamento de água por osmose reversa de uma unidade de hemodiálise hospitalar. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 10, n. 3, p. 259-272, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n3p259-272>.
- ROCHA, M. A. M.; BARATA, R. S.; BRAZ, L. C. O bem-estar de pacientes renais crônicos durante o tratamento com hemodiálise e diálise peritoneal. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, [S. l.], n. 21, p. 670, 1 abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.25248/reas.e670.2019>. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/saude/article/view/670/343>. Acesso em: 26 out. 2024.

REI SANTOS, J. A. R.; NASCIMENTO, R. S.; SIQUEIRA, E. V. S.; SILVA FILHO, J. R. V.; SANTOS, K. E.; DOS SANTOS, A. S.; DOS SANTOS, M. I.; MOREIRA, J. J. S.; SIQUEIRA, C. C.; FRAGA, L. E. Relação entre a concentração de cloro residual livre e a presença de microrganismos na água de poços artesianos destinada ao consumo humano. *Scientia Plena*, [S. 1.], v. 20, n. 8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2024.089904>. Disponível em: <https://scientiaplenu.org.br/sp/article/view/8004>. Acesso em: 12 mar. 2025.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEFROLOGIA (SBN). *Insuficiência renal aguda* [Internet]. São Paulo: SBN, 2007. Disponível em: <https://sbn.org.br/publico/doencas-comuns/insuficiencia-renal-aguda/>. Acesso em: 13 out. 2024.

SCHLEICHER, A. T. *Remoção de estrona, estradiol, etinilestradiol e bisfenol-A por meio de nanofiltração aplicada ao tratamento avançado de águas para consumo humano*. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/15707>. Acesso em: 26 out. 2024.

SIVIERO, P. C. L.; MACHADO, C. J.; CHERCHIGLIA, M. L. Insuficiência renal crônica no Brasil segundo enfoque de causas múltiplas de morte. *Cadernos de Saúde Coletiva*, v. 1, p. 75-85, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-462X201400010012>.

SCAVAZINI, C. B.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P. Qualidade da água da hemodiálise do Hospital Regional de Ilha Solteira, SP. *Multitemas*, p. 273-293, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v25i60.2951>.

SILVA, F. L. da; GOMES, É. R. Qualidade da água de poços do povoado alegria, Teresina-PI. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, v. 2, n. 2, 2021.

SILVA, M. C. da; ZAGONEL, J. T. Análise de águas subterrâneas da região oeste de Santa Catarina. *Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira*, [S. 1.], v. 6, p. e28866, 2021. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/apeuv/article/view/28866>. Acesso em: 11 mar. 2025.

SANTANA, A. B. C.; A. F.; MENDES, A. P.; DE LIMA YAMAGUCHI, K. K. Análise de dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) no estado do Amazonas, 2016-2020. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, v. 9, n. 4, p. 25-34, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22239/2317-269X.01936>.

SILVA, L. S. da; MONTEIRO, R. G.; SILVA, P. S. da; SANTOS, J. W. B. dos. Caracterização hidrogeoquímica das águas de poços subterrâneos no município de Vitória da Conquista, Bahia. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 6, p. 19239–19258, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n6-036>.

TRISTÃO, A. M. V. *Qualidade da água nas clínicas de hemodiálise no estado de Mato Grosso do Sul*. 2014.

VASCONCELOS, M. B.; CAJAZEIRAS, C. C. D. A.; SOUSA, R. R. D. Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil. 2019.

VIEGAS, C. J. T.; SILVA, T. S.; CUNHA, H. F. A.; CUNHA, A. C. Sistema de esgotamento sanitário e casos de diarreia em Macapá/AP. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 12, p. 304-316, 2021.

VIEGAS, C. J. T.; ARAÚJO, E. P.; SOUSA, T. S.; CUNHA, A. C. Variação geoespacial de indicadores de saneamento básico e de saúde dos ex-territórios federais na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, p. 1038-1059, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p1038-1059>.

ZANETTE, N. S. Avaliação da qualidade do tratamento de água por osmose reversa em clínica de hemodiálise e seus interferentes. *Revista Vincci-Periódico Científico do UniSATC*, v. 9, n. 1, p. 169-192, 2024.

ANEXO 1 - PLANILHA DE DADOS STDAH UNINEFRO AMAPÁ

Meses	ANÁLISE DE METAIS					
	Alumínio total (mg/L) - P1	Alumínio total (mg/L) - P3	Antimônio total (mg/L)-P1	Antimônio total (mg/L)-P3	Arsênio total (mg/L)-P1	Arsênio total (mg/L)-P3
dez.-22	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,005
mai.-23	0,004	0,003	0,001	0,001	0,005	0,005
nov.-23	0,007	0,006	0,001	0,001	0,005	0,005
maio/24	0,011	0,007	0,001	0,001	0,005	0,005

Meses	1. ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA					
	CIP1 (mg/L)	CIP2 (mg/L)	CIP3 (mg/L)	CIP4 (mg/L)	Condutividade elétrica- P1 (µS/cm)	Condutividade elétrica- P2 (µS/cm)
ago.-22	0,90	0,01	0,10	0,01	96,0	104,0
set.-22	0,06	0,12	0,01	0,01	352,0	347,0
out.-22	0,01	0,70	0,01	0,01	288,0	NA
nov.-22	0,01	0,36	0,01	0,01	307,0	308,0
dez.-22	0,01	0,01	0,01	0,07	359,0	352,0
jan/23	0,62	0,20	0,01	0,01	740,0	393,0
fev/23	0,04	0,03	0,02	0,03	410,0	400,0
mar/23	0,01	0,13	0,09	0,10	441,0	453,0
abr/23	0,01	NA	0,01	0,01	345,0	NA
mai/23	0,01	0,01	0,01	0,01	395,0	396,0
jun/23	0,01	0,60	0,01	0,01	493,0	509,0
jul/23	0,01	0,90	0,10	0,01	546,0	654,0
ago/23	0,03	0,60	0,01	0,10	436,0	496,0
set/23	0,01	0,80	0,01	0,01	421,0	480,0
out/23	0,01	0,70	0,01	0,01	549,0	448,0
nov/23	NA	0,12	0,04	0,06	NA	396,0
dez.-23	0,01	0,05	0,01	0,01	420,0	412,0
jan./24	0,01	0,01	0,01	0,01	442,0	456,0
fev./24	0,01	0,22	0,10	0,01	157,0	159,0
mar./24	0,26	0,3	0,01	0,08	31,0	22,0
abr./24	0,01	NA	0,01	0,01	345,0	NA
mai./24	0,28	0,01	0,01	0,01	827,0	19,1
jun./24	0,01	0,41	0,01	0,01	194,0	195,0
jul./24	0,01	0,03	0,1	0,03	166,0	169,0
ago./24	0,03	0,5	0,02	0,01	696,0	706,0

Bário total (mg/L)-P1	Bário total (mg/L)-P3	Berílio total (mg/L)-P1	Berílio total (mg/L)-P3	Cádmio total(mg/L)-P1	Cádmio total(mg/L)-P3
0,06	0,03	0,0001	0,0001	0,001	0,001
0,06	0,04	0,0001	0,0001	0,001	0,001
0,07	0,05	0,0001	0,0001	0,001	0,001
0,09	0,07	0,0001	0,0001	0,001	0,001

Condutividade elétrica- P3 (µS/cm)	Condutividade elétrica - P4 (µS/cm)	Cor aparente- P1 (uH)	Cor aparente - P2 (uH)	Cor aparente - P3(uH)	Cor aparente - P4 (uH)
10,0	8,66	27,0	2,0	NA	NA
8,30	8,40	3,0	2,0	NA	NA
7,20	7,30	9,0	NA	NA	NA
7,36	7,85	2,0	2,0	NA	NA
8,60	9,29	2,0	2,0	NA	NA
7,40	7,20	13,0	4,0	NA	NA
7,25	8,25	2,0	2,0	NA	NA
9,21	8,10	15,0	6,0	NA	NA
7,20	7,80	12,0	NA	NA	NA
6,20	8,20	2,0	2,0	NA	NA
7,50	8,40	2,0	2,0	NA	NA
8,20	8,66	2,0	2,0	NA	NA
7,10	8,52	3,0	2,0	NA	NA
6,20	6,32	13,0	9,0	NA	NA
6,90	7,87	3,0	2,0	NA	NA
7,20	8,30	NA	4,0	NA	NA
6,90	9,03	1,0	2,0	NA	NA
9,9	6,4	2,0	2,0	NA	NA
8,6	7,0	5,0	11,0	NA	NA
4,24	5,01	2,0	2,0	NA	NA
7,2	7,8	12,0	NA	NA	NA
7,7	7,1	2,0	10,0	NA	NA
5,84	4,72	2,0	6,0	NA	NA
6,07	5,64	2,0	2,0	NA	NA
6,48	5,0	2,0	2,0	NA	NA

Cobre total(mg/L) -P1	Cobre total(mg/L) -P3	Cromo total(mg/L)-P1	Cromo total(mg/L)-P3	Fluoretos(mg/L)- P1	Fluoretos(mg/L)- P3
0,05	0,04	0,001	0,001	0,1	0,1
0,04	0,05	0,001	0,001	0,1	0,1
0,06	0,07	0,001	0,001	0,1	0,1
0,08	0,05	0,001	0,001	0,1	0,1

Salinidade - P3 (S%)	Salinidade - P4 (S%)	Turbidez - P1(uT)	Turbidez - P2 (uT)	Turbidez - P3 (uT)	Turbidez - P4(uT)
NA	NA	2,0	1,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	3,0	NA	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	10,0	5,0	NA	NA
NA	NA	5,0	NA	NA	NA
NA	NA	5,0	1,0	NA	NA
NA	NA	3,0	NA	NA	NA
NA	NA	3,0	4,0	NA	NA
NA	NA	1,0	5,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	3,2	1,5	NA	NA
NA	NA	3,0	1,0	NA	NA
NA	NA	11,0	1,2	NA	NA
NA	NA	NA	3,0	NA	NA
NA	NA	1,0	4,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	1,0	3,0	NA	NA
NA	NA	4,0	4,0	NA	NA
NA	NA	3,0	NA	NA	NA
NA	NA	3,0	2,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	1,0	1,0	NA	NA
NA	NA	4,0	5,0	NA	NA

Magnésio total(mg/L)-P1	Magnésio total(mg/L)-P3	Mercúrio total(mg/L)-P1	Mercúrio total(mg/L)-P3	Nitratos (N)(mg/L)-P1	Nitratos (N)(mg/L)-P3
2,0	0,25	0,0002	0,0002	1,2	0,06
2,0	4,0	0,0002	0,0001	1,1	0,05
4,0	4,0	0,0002	0,0002	0,67	0,18
4,0	4,0	0,0002	0,0002	4,0	0,24

2. ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

PH a 25°C - P1	PH a 25°C - P2	PH a 25°C - P3	PH a 25°C - P4	Coliformes totais - P1 (P-A/100mL)	Coliformes totais - P2 (P-A/100mL)
5,98	6,07	6,62	6,68	0	0
5,06	6,24	6,3	6,35	0	0
4,76	NA	6,51	6,61	0	0
5,30	6,7	6,89	6,99	0	0
7,42	6,44	7,17	6,95	0	0
NA	6,60	7,22	7,39	0	0
5,06	5,26	6,95	6,26	0	0
5,50	6,02	6,68	6,32	0	0
5,02	NA	6,6	6,8	0	0
4,83	4,92	6,87	6,06	0	0
4,91	5,45	6,16	6,83	0	0
5,98	6,07	6,62	6,68	0	0
4,76	5,75	6,68	6,52	0	0
5,04	6,18	6,31	6,32	0	0
4,66	4,95	6,22	6,10	0	0
NA	4,76	6,11	6,11	0	0
4,32	5,03	5,32	5,08	0	0
4,15	4,23	5,65	5,56	0	0
4,87	5,59	5,71	5,83	0	0
5,06	4,75	5,71	5,74	0	0
5,02	NA	6,60	6,80	0	0
4,74	4,95	5,01	5,83	0	0
4,17	4,13	5,04	4,96	0	0
4,19	3,99	5,27	4,52	0	0
5,23	5,60	6,39	6,22	0	0

Potássio total(mg/L)-P1	Potássio total(mg/L)-P3	Prata Total(mg/L)-P1	Prata Total(mg/L)-P3	Selênio total(mg/L)-P1	Selênio total(mg/L)-P3	Sódio total (mg/L)-P1
2,3	0,01	0,002	0,005	0,001	0,001	47,0
2,5	0,01	0,005	0,005	0,001	0,001	54,0
0,4	0,01	0,005	0,005	0,001	0,001	85,0
3,4	0,01	0,005	0,005	0,001	0,001	82,0

GICA

Coliformes totais - P3 (P-A/100mL)	Coliformes totais - P4 (P-A/100mL)	HETP1 (UFC/mL)	HETP2 (UFC/mL)	HETP3 (UFC/mL)	HETP4 (UFC/mL)	Escherichia coli - P1
0	0	80,0	690,0	1,0	1,0	0
0	0	1,0	67,0	13,0	12,0	0
0	0	25,0	56,0	1,0	0,0	0
0	0	11,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	120,0	10,0	15,0	57,0	0
0	0	60,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	40,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	10,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	520,0	15,0	10,0	1,0	0
0	0	56,0	14,0	84,0	54,0	0
0	0	800,0	690,0	1,0	1,0	0
0	0	34,0	1,0	1,0	60,0	0
0	0	53,0	1,0	1,0	20,0	0
0	0	70,0	1,0	1,0	25,0	0
0	0	1,0	23,0	1,0	60,0	0
0	0	1,0	1,0	10,0	48,0	0
0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	1,0	1,0	20,0	1,0	0
0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	1,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	560,0	630,0	1,0	1,0	0
0	0	5,0	1,0	1,0	1,0	0
0	0	73,0	82,0	1,0	2,0	0

