



DÉBORA MAGDALÃO DOS SANTOS

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS OUTORGADOS E DA ÁGUA
TRATADA NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE MACAÉ**

MACAÉ

2022

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro Multidisciplinar

UFRJ-Macaé

DÉBORA MAGDALÃO DOS SANTOS

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS OUTORGADOS E DA ÁGUA
TRATADA NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE MACAÉ**

Orientadora: Cherrine Kelce Pires

MACAÉ

2022

S237e

Santos, Débora Magdalão dos

Estudo da qualidade da água de poços outorgados e da água tratada na área rural do município de Macaé. / Débora Magdalão dos Santos. -- Macaé, 2022.
48 f.

Orientador: Cherrine Kelce Pires.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -- Universidade Federal do Rio de Janeiro, CM UFRJ Macaé, Instituto Multidisciplinar de Química, Bacharel em Química, 2022.

1. Tratamento da água. 2. Poços artesianos. 3. Química ambiental. 4. Doenças transmitidas pela água. 5. Qualidade da água. I. Pires, Cherrine Kelce, orient. II. Título.

CDD 628.162

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)
Biblioteca Central - Centro Multidisciplinar UFRJ Macaé
Bibliotecário(a) Rosangela Ribeiro Magnani Diogo CRB7/3719 S

DÉBORA MAGDALÃO DOS SANTOS

**ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS OUTORGADOS E DA ÁGUA
TRATADA NA ÁREA RURAL DO MUNICÍPIO DE MACAÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC
examinado e aprovado pelo Curso de
Bacharelado em Química da
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
Campus Macaé, como requisito para
obteção do Título de Bacharel em
Química.

Aprovado em 10 de Março de 2022.

BANCA EXAMINADORA

CKPires

Orientadora e Professora: D.SC. Cherrine Kelce Pires
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Campus Macaé
<http://lattes.cnpq.br/5272635860106892>

Nelilma C. Romeiro

Professora: D.SC. Nelilma Correia Romeiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Campus Macaé
<http://lattes.cnpq.br/5103876509322346>

Robson Mendes Mattos

Professor: D.SC. Robson Mendes Mattos
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Campus Macaé
<http://lattes.cnpq.br/7097320077123927>

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos	13
3.2 Legislação de Referência	14
3.3 Algumas alterações nos Parâmetros de acordo com a Nova Portaria nº 888: ...	14
4 JUSTIFICATIVA	15
5 METODOLOGIA.....	16
5.1 Caracterização da área de estudo.....	16
5.2 Demandas de água na empresa	22
5.3 Programação de amostragem e conservação de amostras	23
5.4 Riscos associados à ingestão de água de má qualidade	24
5.4.1 Qualidade da Água.....	26
5.4.2 Indicadores Físicos.....	27
5.4.3 Indicadores Químicos	28
5.5 Propriedades Físico-Químicas da Água	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6.1 Parâmetros Físico-Químicos	31
6.1.1 Temperatura	31
6.1.1.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de temperatura.....	28
6.1.1.2 Procedimento para análise de temperatura.....	28
6.1.2 Turbidez.....	33
6.1.2.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de turbidez.....	30
6.1.2.2 Procedimento para análise de turbidez.....	30

6.1.3 pH.....	34
6.1.3.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de pH.....	31
6.1.3.2 Procedimento para análise de pH.....	32
6.1.4 Cloro Residual Livre	37
6.1.4.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de cloro residual livre.....	34
6.1.4.2 Procedimento para análise de cloro residual livre.....	30
6.2 Parâmetros Microbiológicos	40
6.2.1 Coliformes Totais e Escherichia coli.....	40
6.2.1.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de coliformes totais e Escherichia Coli.....	30
6.2.1.2 Procedimento para análise de cloro residual livre.....	30
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXO 1	46

Lista de Figuras

Figura 1: Vista aérea do terreno onde a Central de Tratamento de Resíduos – CTR-Macaé é instalada.	17
Figura 2: Localização do poço tubular nº01 - PT-01.....	18
Figura 3:Localização do poço tubular nº02 - PT-02.....	18
Figura 4: Localização do sistema de tratamento da água (ETA).	19
Figura 5: Colaborador da empresa Sumatex coletando as amostras dos poços tubulares.....	20
Figura 6: Armazenamento das amostras em isopor com gelo para realização do transporte até o laboratório.....	21
Figura 7: Fluxograma de sistema com dois filtros em série para tratar a água dos 02 poços tubulares..	29
Figura 8: Estrutura molecular da água com seu ângulo de ligação entre os átomos de hidrogênio e oxigênio.	29
Figura 9: Representação das ligações de hidrogênio entre as moléculas de água..	30
Figura 10: Gráfico de temperatura das amostras de água coletadas nos poços de outorga PT-01, PT-02 e da ETA.....	33
Figura 11: Gráfico com valores de pH das amostras de água analisadas nos poços de outorga PT-01, PT-02 e da ETA.	36
Figura 12: Gráfico com valores de cloro residual presentes nas amostras de água dos poços PT-01, PT-02 e da ETA.....	40

RESUMO

A água é uma substância fundamental para a manutenção do nosso planeta, ela desempenha um importante papel na conservação da vida. No entanto, com o passar dos anos e com o desenvolvimento industrial, a água vem sofrendo constantes agressões que comprometem a sua qualidade. Este cenário induz a busca de fontes alternativas de abastecimento, e dentre as soluções encontradas está o uso de recursos hídricos subterrâneos. Estes constituem uma importante fonte de abastecimento de água, sendo assim, a sua preservação e conservação torna-se importante, o que por sua vez faz-se necessária a avaliação constante da qualidade da água deste tipo de recurso hídrico. Neste trabalho, foi realizado o estudo da qualidade da água de poços outorgados e da água da estação de tratamento, consumida pelos colaboradores, terceirizados e visitantes da empresa CTR-Macaé. A empresa está localizada na área rural do município de Macaé, entre o km 148 e 149 da BR-101. As coletas das amostras de água foram realizadas entre os meses de janeiro de 2019 e setembro de 2021. A classificação da potabilidade da água baseou-se nos parâmetros microbiológicos e físico-químicos da Portaria GM/MS nº 888, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os resultados obtidos mostraram que as amostras estavam aptas para consumo humano.

Palavras-chave: Qualidade da água, poço outorgado e potabilidade.

ABSTRACT

Water is an essential substance for the maintenance of our planet. It plays a key role in life support. However, over the years and with industrial development water has been suffering constant aggressions that compromise its quality. This problematic situation encourages alternative sources of water supply, like, among several solutions, the groundwater basis. Those kinds of supply constitute an important source and its preservations and conservation become very important, which in turn makes it necessary to constantly assess the water quality for monitoring. In this work, a study was carried out on the quality of water from granted wells and water from the treatment plant, consumed by employees, outsourced workers and visitors of the company CTR-Macaé. The company is located in the rural area of the municipality of Macaé, between km 148 and 149 of the BR-101. The collection of water samples was carried out between January 2019 and September 2021. The classification of water potability was based on the microbiological and physical-chemical parameters of Ordinance GM/MS No. 888, which amends Annex XX of the Consolidation Ordinance No. 5, to provide for the procedures for controlling and monitoring the quality of water for human consumption and its potability standard. The results obtained showed that the samples were suitable for human consumption.

Keywords: Water quality. Wells granted. Potability. Water analysis.

1 INTRODUÇÃO

No início do século XVIII, a revolução industrial trouxe à mecanização das linhas de produção e a expansão dos centros urbanos, o que possibilitou a melhora na qualidade de vida e o aumento da produção industrial. Como consequência, houve o agravamento da poluição atmosférica e da poluição das águas.

Com o passar dos anos a intensa emissão de poluentes (industriais e domésticos) e o lançamento destes nos corpos hídricos, ocasionou sérias alterações ambientais, e conseqüentemente, houve uma elevação na concentração de contaminantes, alterações na temperatura, no deslocamento das massas de ar e na vazão dos rios, o que acarretou na baixa qualidade da água utilizada para o abastecimento humano.

Segundo a definição de Von Sperling (2005), a poluição da água ocorre pela adição direta ou indireta de componentes químicos e/ou de formas de energia, que são capazes de alterar a natureza da água de tal forma que afete e prejudique sua qualidade.

A água é um recurso natural e limitado, imprescindível para a manutenção da vida humana e de outras espécies, além de ser um importante insumo para a grande maioria das atividades econômicas, dentre elas a agricultura e a indústria. Levando isto em consideração, esta precisa ser gerida de forma racional, com planejamento pensado no seu uso múltiplo, para que assim todos possam ter acesso a água em quantidade e qualidade, imprescindíveis para as suas necessidades básicas.

No entanto, a sociedade tem explorado este bem essencial de forma não sustentável, ocasionando graves problemas relacionados à baixa qualidade dos recursos hídricos e também a sua escassez.

Em decorrência do uso inadequado dos recursos hídricos, alterações nas propriedades físico-químicas e microbiológicas tem comprometido suas características, ocasionando a criação de ambientes favoráveis ao desenvolvimento de vetores, alterando e/ou suprimindo ecossistemas e biomas, além de acarretar o surgimento e agravamento de problemas relacionados saúde da população.

Nesse sentido, há a necessidade de realizar análises químicas e microbiológicas para avaliar a qualidade da água, para que assim esta seja considerada adequada para o consumo humano. Seu padrão de potabilidade é composto por um conjunto de parâmetros, tais como, cor, sabor, odor, turbidez, condutividade elétrica, a presença de microrganismos e compostos químicos. Estes parâmetros são padronizados segundo a legislação de potabilidade.

Além de garantir a qualidade da água, também há a necessidade de garantir o acesso a uma quantidade suficiente. Nesse sentido, a outorga do acesso e uso da água tem sido um importante instrumento para a redução dos conflitos referentes a água. Baseado na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal Nº 9.433/97, com o intuito de definir e limitar o uso da água de forma inadequada, e garantir sua melhor disponibilidade para os diversos usos a partir da demanda dos usuários. A disponibilidade da água com a aplicação da outorga tem permitido priorizar o seu uso e garantindo a sustentabilidade ambiental deste recurso hídrico.

Assegurar o acesso em quantidade e qualidade para à atual e as futuras gerações, requer o uso planejado dos recursos hídricos. Sendo assim, a Central de Tratamento de Resíduos de Macaé, tem utilizado dois poços outorgados tubulares de água bruta (PT nº 1 e PT nº 2). Estes poços são utilizados para captação e o abastecimento de água para o consumo humano.

Portanto, o uso eficiente e o reúso da água tornam-se pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável. O setor de saneamento insere-se neste contexto com a função de promover a melhoria da qualidade de vida da população, utilizando os recursos naturais de maneira ambientalmente sustentável e economicamente eficiente.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a qualidade da água após o tratamento realizado na CTR-Macaé, através das análises físico-químicas e microbiológicas dos poços outorgados PT- nº1 e PT- nº2, avaliando se estes estão de acordo com os padrões exigidos pela legislação em vigor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O estudo realizado teve como objetivo avaliar e diagnosticar as condições de potabilidade e ocorrência de contaminantes físicos, químicos ou microbiológicos nas amostras da água dos poços de outorga e da água tratada localizadas na CTR-Macaé.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a presença de contaminação microbiológica na água dos poços de outorga e da água tratada na área de influência do aterro sanitário CTR-Macaé, ambas utilizadas para consumo humano.
- Comparar os resultados obtidos com os valores máximos preconizados pela Portaria de Consolidação nº 5, no Anexo XX (legislação sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos

A Lei estadual nº 7.663, de 1991, institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e tem como finalidade assegurar a água como um bem de todos e de domínio público, promovendo o desenvolvimento econômico e bem-estar social. A regularização desse recurso natural tem como objetivo controlar o uso dos recursos hídricos, para que os mesmos sejam usufruídos pela população atual e às futuras gerações, com qualidade significativa.

O Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei 7.663/91) visa um conjunto de ações, tais como:

- o aproveitamento racional do recurso hídrico, superficial e subterrâneo, com priorização de uso à população;
- o aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos;
- a defesa contra escassez hídrica, que provoca prejuízos à população e a economia;
- o desenvolvimento hidroviário e seu aproveitamento econômico;
- a prevenção contra o processo erosivo e proteção dos corpos d'água.

Para a perfuração dos poços tubulares, é necessário o uso de equipamentos especializados e o acompanhamento de um profissional habilitado, tais como engenheiros (capacitados nessa área) ou geólogos.

De acordo com as informações da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (**ABAS**), esse tipo de perfuração trata-se de obra de engenharia geológica, e esta deve ser executada com o uso de uma sonda perfuratriz, que realiza perfuração vertical com diâmetro de 4" a 36" (aproximadamente de 10 cm a 90 cm) e profundidade de até 2000 metros, para captação de água" (**ABAS, 2013**).

3.2 Legislação de Referência

Em Maio de 2021 foi publicada a Portaria GM/MS nº 888 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A nova Portaria entrou em vigor na data de sua publicação.

A Portaria nº 888 abrange aproximadamente 130 parâmetros, os quais estão divididos em tabelas de padrão de potabilidade, separados por substâncias orgânicas, inorgânicas, agrotóxicos e metabolitos, subprodutos de desinfecção, compostos organolépticos e padrão bacteriológico. De acordo com a portaria a água pode ser considerada potável, quando os resultados das análises apresentam valores inferiores aos valores máximos dos parâmetros estabelecidos na legislação.

3.3 Algumas alterações nos Parâmetros de acordo com a Nova Portaria nº 888:

Cor: A portaria anterior descrevia apenas o ensaio de cor, no entanto, a nova portaria descreve como ensaio de cor aparente. Isto implica em uma questão importante para os laboratórios referente ao método de análise. O método adequado para cor aparente segundo o **Standard Methods 23ª Edição de 2017**, é o método de comparação Visual 2120B. Segundo este método de referência, na sessão de introdução do método de cor 2121A - Introduction, em seu item 2 “Seleção dos métodos”, está descrito que para cor aparente deve ser utilizado o método 2120B.

Saída do indicador bactérias heterotróficas: A saída do método de determinação de bactérias heterotróficas como indicador de qualidade, foi uma novidade na nova portaria. Os parâmetros de controle continuarão utilizando o ensaio de *Escherichia coli*, no qual muitos laboratórios já utilizavam, principalmente pelo método do substrato enzimático, cujos resultados saem em 24h. Adicionalmente, será realizada a análise de turbidez mencionada anteriormente. No entanto, alguns dos responsáveis pelo tratamento de água sentem-se perdidos com relação à saída deste indicador, pois consideram as bactérias heterotrófica uma boa referência para averiguar qualquer indício de alteração no ponto de coleta.

Cloro: Uma informação importante foi suprimida no antigo artigo 39 do anexo XX, havia uma recomendação que sempre foi seguida, a) o valor de cloro recomendado era de 0,2 a 2,0 mg/L nas redes e no máximo de 5,0 mg /L, logo após a desinfecção para sistemas de abastecimento. Por recomendação era utilizado o valor de 2,0 mg/L (referência de valor máximo permitido - VMP) mesmo sendo uma sugestão. No VMP de ambas as portarias consta como valor referência de 5,0 mg/L, e isso não mudou, entretanto, na nova portaria foi retirado o artigo 39 e não é possível encontrar o valor recomendado de até 2,0 mg/L.

Por outro lado, o valor de 5,0 mg/L de cloro é considerado prejudicial e organolepticamente indesejável para o sensorial humano. Já em termos analíticos, há uma dificuldade de trabalhar com uma curva de calibração com um valor de concentração elevado, tal como a de 5,0 mg/L. No entanto, se estes valores tiverem dentro da legislação, os laboratórios terão que se adequar e considerar 5,0mg/L como sendo o limite da faixa analítica, a fim de demonstrar que o resultado não ultrapassou o VMP de 5,0 mg/L.

pH: O parâmetro de pH na antiga portaria (PC n°5), tinha como recomendação o valor de 6,0 a 9,5 explicitamente descrito no artigo 39. No entanto, na nova portaria (n° 888), a faixa de pH encontra-se subentendida no anexo 3 (referente ao tempo de contato mínimo para desinfecção). Nesse anexo o valor de desinfecção versus o valor de pH é de 6,0 a 9,0; que por interpretação passa a ser a faixa de pH aceitável. O critério de precisão para os resultados e os valores da faixa não foram alterados, e continuam com o uso de uma casa decimal, sendo desnecessárias as alterações nos equipamentos utilizados para medição.

4 JUSTIFICATIVA

Esse trabalho justifica-se porque entende-se como fundamental a verificação da qualidade da água para consumo humano na empresa Construtora Zadar, onde é aplicada a operação de um aterro sanitário. Com o objetivo de monitorar uma possível contaminação nos poços tubulares outorgados e no sistema de tratamento da água, ressalta que o consumo de água com potabilidade assegurada, a garantia de qualidade de vida e a proteção contra doenças, principalmente as evitáveis, relacionadas a fatores ambientais.

Ressalta-se que a coleta das amostras e os ensaios físico-químicos em campo foram executados em conformidade com as normas técnicas vigentes e as análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas em laboratórios, devidamente credenciado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

5 METODOLOGIA

5.1 Caracterização da área de estudo

A Construtora Zadar no seu escopo de prestação de serviços de tratamento e destinação final de resíduos sólidos da classe II e resíduos de serviços de saúde, compromete-se com a destinação e tratamento de resíduos, a proteção do meio ambiente, prevenção da poluição, atendendo aos requisitos legais e demais requisitos aplicáveis às suas atividades.

Atuam como agente de desenvolvimento, capacitando seus colaboradores, quanto aos aspectos relacionados à qualidade, meio ambiente, saúde e segurança. A empresa tem como objetivo disponibilizar uma área adequada para o destino final dos resíduos industriais da região.

O terreno proposto para a instalação da Central de Tratamento de Resíduos de Macaé – CTR (Figura 1), é parte da Fazenda São Sebastião dos Quarenta, Barreto e Pindobas, na margem esquerda da rodovia BR-101 entre o km 148 e km 149 (sentido Rio de Janeiro – Campos dos Goytacazes). A escolha do local para a instalação da CTR-Macaé foi determinante para o sucesso deste empreendimento, pois, condiciona seu funcionamento do ponto de vista técnico/econômico, sanitário e ambiental. Também foi levado em consideração os aspectos econômicos, técnicos, ambientais, políticos, legais e sociais da região.

Estudos de caracterização da qualidade da água subterrânea anteriores à instalação dos empreendimentos (possivelmente impactantes), como é o caso dos aterros sanitários, devem ser realizados para que assim possa ser feita uma melhor avaliação do impacto do empreendimento, comparando-se os aspectos ambientais de antes e após a sua implantação.



Figura 1: Vista aérea do terreno onde a Central de Tratamento de Resíduos – CTR-Macaé é instalada.

Para monitoramento da qualidade da água na área do aterro, foram concebidos de acordo com o órgão ambiental fiscalizador, INEA, dois poços tubulares outorgados, denominados como pontos de coleta: PT-n°1(Figura 2) e PT- n°2 (Figura 3), bem como o sistema de tratamento que é denominado como ponto de coleta: água da Estação de Tratamento de Água (ETA).



Figura 2:Localização do poço tubular - PT-n° 1.



Figura 3:Localização do poço tubular PT-n°2.



Figura 4: Localização do sistema de tratamento da água (ETA).

As coletas das amostras e as análises de campo (aparência, temperatura da amostra, pH e cloro residual livre) dos poços outorgados e da água após tratamento foram realizadas in loco (Figura 5).



Figura 5: Colaborador da empresa Sumatex coletando as amostras dos poços tubulares.

Foi utilizado o aparelho fotômetro portátil para análise de cloro livre, usando a referência HI97734C e o medidor multiparâmetro com a referência HI98194.

As demais análises foram realizadas no laboratório habilitado pelo INEA (SUMATEX AMBIENTAL), que possui o Certificado Ambiental CTA nº IN008072, válido até 07/01/2023.

As coletas foram realizadas no período entre os anos de 2019 e 2021 e foram seguidos os procedimentos de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), 23ª Edição.

Na saída de cada poço (PT- nº01 e PT- nº02) foram monitorados os parâmetros de campo: aparência, temperatura da amostra, pH e cloro residual livre. Na saída do sistema de tratamento (água da ETA), foram monitorados os mesmos parâmetros e o nível de água do poço. Após a coleta as amostras foram mantidas refrigeradas em isopor com gelo (Figura 6), à temperatura menor que 4°C até a chegada ao laboratório. O processo realizado no tratamento de água é livre de qualquer tipo de contaminação, o que evita a transmissão de doenças.



Figura 6: Armazenamento das amostras em isopor com gelo para realização do transporte até o laboratório.

Os tipos de tratamento de água podem ser compreendidos em: **a)** convencional – o tratamento da água bruta pelos processos de floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção por cloração e fluoretação; **b)** não convencional – o tratamento da água bruta por clarificador de contato, que é realizado em estações de tratamento de água compactas, pressurizadas ou não, com filtragem rápida, e a simples desinfecção. O tratamento da água bruta passa apenas pelo tratamento com cloro antes da sua distribuição à população. Esse tratamento simples de desinfecção com a adição de cloro é conhecido como cloração. O tratamento realizado com a adição de cloro e flúor, é conhecido como fluoretação. Já no tratamento convencional, a água bruta passa por um tratamento completo na ETA, adotando os processos de floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação, antes de ser distribuída à população.

O tratamento realizado no empreendimento é o tratamento com simples desinfecção. Na Central de Tratamento de Resíduos, utiliza-se um sistema não convencional, composto por dois filtros com multiválvulas de 4 vias de 1.1/2”, acoplada

no topo do tanque, com comando por alavanca com as seguintes posições: filtrar, lavar o filtro (retrolavagem), recircular e filtrar ao esgoto, além do dissolvedor de pastilhas, para desinfecção da água. Este sistema visa adequar-se dentro dos padrões de potabilidade em conformidade com a Portaria de Consolidação nº05 do Ministério da Saúde.

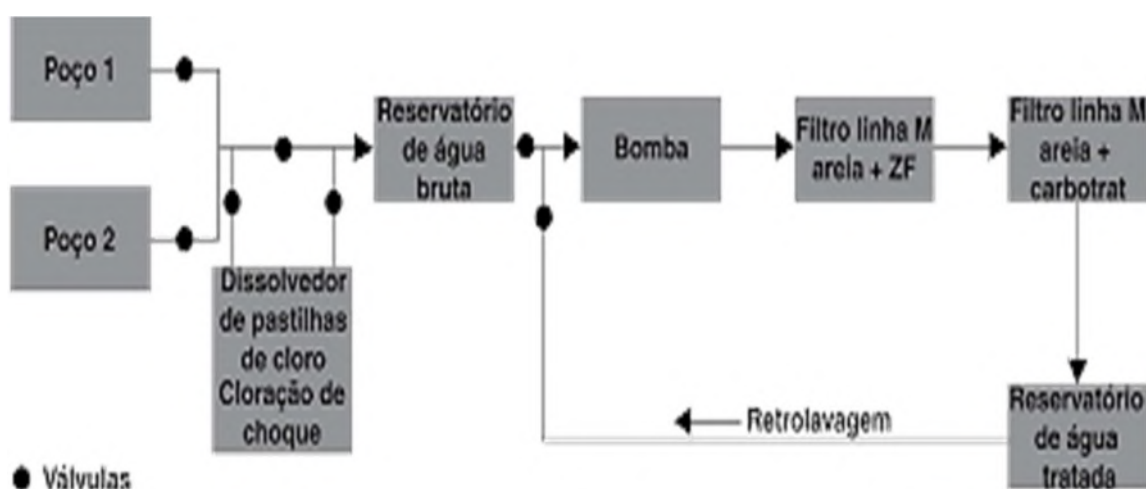


Figura 07: Fluxograma de sistema com dois filtros em série para tratar a água dos 02 poços tubulares.

5.2 Demandas de água na empresa

O tratamento da água tornou-se uma das principais preocupações da sociedade moderna e possibilitou a evolução de sistemas de tratamento, análise e controle que atendam as condições mínimas de qualidade para garantir as necessidades de uma boa saúde (Gobato; Lanças, 2001). De acordo com Farache-Filho; Dias (2008) a crescente procura por água mineral envasada, deve-se ao fato de que a água tratada oferecida pelas redes públicas, em muitos casos, não tem a confiança necessária da população para o seu consumo.

Devido à empresa (Construtora Zadar) atuar com a operação de um aterro sanitário, foi priorizado o consumo de água mineral, natural e envasada em galões de 20 litros, pois a água mineral se torna uma alternativa saudável para que não haja o risco de se contrair doenças de veiculação hídrica.

Em cada posto de trabalho é acondicionado um galão de 20 litros por meio de um bebedouro para consumo dos indivíduos. A cada envase é realizado uma coleta

da amostra de água mineral, os parâmetros avaliados segundo a análise microbiológica da água mineral apresentam-se de acordo com a Instrução Normativa nº60 de 23 de dezembro de 2019, a qual estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos (RDC 331/2019 – ANVISA).

A Construtora Zadar possui um fluxo diário de 54 colaboradores nos turnos diurno e noturno; e 25 consistem em funcionários terceirizados, enquanto que o restante compõe a estimativa de número de visitantes. O aterro sanitário – CTR-Macaé funciona ininterruptamente durante 24 horas, em todos os dias da semana.

A água tratada com cloração é utilizada no refeitório, para a lavagem de louças, limpeza em geral, nos banheiros feminino e masculino para lavagem das mãos, na escovação dos dentes e higiene pessoal, nos setores administrativos e operacionais para limpeza em geral; e na área externa para manutenção e limpeza geral do ambiente.

5.3 Programação de amostragem e conservação de amostras

As coletas e análises das amostras de efluentes foram realizadas por um laboratório habilitado pelo INEA, conforme descrito acima, no item 5.1, em concordância com o procedimento realizado pelo laboratório SUMATEX AMBIENTAL que possui o Certificado Ambiental emitido pelo INEA – CTA nº IN008072, válido até 07/01/2023, segundo os procedimentos de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), 23ª Edição, Método 1060 B, 9060 A e PO-010.

Para verificar a qualidade da água bruta, captada para o consumo humano, assim como a água tratada para distribuição, foram escolhidos pontos de amostragens para verificação de possível ocorrência de contaminação, tanto no poço tubular, quanto no sistema de tratamento. Inicialmente foi identificada a localização dos poços tubulares existentes, tais como PT-nº1 e PT-nº2 e da saída do sistema de tratamento como água da ETA.

As coletas foram realizadas no período da manhã, entre 08:00 - 12:00 horas, com frequência trimestral, nos poços outorgados e na saída do sistema de tratamento da água. O período de coleta nos poços e no sistema de tratamento foi de janeiro de 2019 a setembro de 2021.

Na saída de cada poço (PT-n°01 e PT-n°02) foram monitorados os parâmetros de campo: temperatura da amostra, pH, cloro residual livre, condutividade e o nível da água do poço. Na saída do sistema de tratamento (água da ETA), foram monitorados os parâmetros de campo: temperatura da amostra, pH, cloro residual livre e condutividade.

Ao iniciar a etapa de coleta em campo houve o preenchimento da ficha de coleta com os dados da amostragem, data da coleta, horário, responsável, localização da coleta, número do poço e observações gerais. Em seguida, foram feitas as coletas de água nos frascos apropriados fornecidos pelo laboratório responsável pela análise, que podem ou não conter fluido preservação, sendo filtradas ou não conforme o parâmetro a ser analisado. Após a coleta refrigerou-se as amostras em isopor com gelo, à temperatura menor que 4°C até a chegada ao Laboratório da empresa Sumatex Ambiental, localizada no Rio de Janeiro.

5.4 Riscos associados à ingestão de água de má qualidade

A água constitui elemento essencial à vida. O homem necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para proteção de sua saúde e para propiciar o desenvolvimento econômico.

A demanda de água tem-se intensificado à medida que se expandem os usos aos quais se destina. Antes utilizada para ingestão, preparo de alimentos e higiene pessoal; os usos consuntivos se diversificaram na indústria, na agricultura e em outros ramos de atividade, elevando a demanda de água e aumentando as exigências quanto a sua qualidade.

A Portaria estabelece que a água produzida e distribuída para consumo humano está sujeita ao controle e vigilância de qualidade. A legislação fixa também que devem ser realizadas análises para determinação da qualidade e estabelece a quantidade mínima de amostras; a frequência de amostragem e os padrões limites permitidos de cada substância. O propósito é que a água fornecida para uso coletivo não ofereça riscos de danos à saúde do consumidor.

É de competência da Secretária de Vigilância em Saúde (SVS) promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelecer ações especificadas no Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), estabelecer ações próprias dos laboratórios de saúde pública, executar ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011).

A vigilância da qualidade da água para fins de consumo humano deve ser rotineira, de ação preventiva sobre o sistema público e soluções alternativas de abastecimento de água. Também deve dar a conhecer, ao consumidor, a situação da água para consumo humano, reduzindo a possibilidade de doenças transmitidas pela água ingerida.

O consumo de água segura é de importância fundamental para a qualidade de vida e a proteção contra as doenças, sobretudo aquelas evitáveis, relacionadas a fatores ambientais e que têm afligido populações em todo o mundo (BRASIL, 2010). As doenças de veiculação hídrica emergiram como um dos principais problemas de Saúde Pública nos últimos 25 anos (FRANCO, 2007). A importância dos serviços de água tratada e de esgoto na saúde e bem-estar da população é vastamente reconhecida, sendo os serviços de saneamento básico considerados essenciais à vida e com fortes impactos sobre o meio ambiente (IPEA, 2005).

A qualidade da água pode ser avaliada por um conjunto de parâmetros, determinados através uma série de análises física, química e biológica. A análise físico-química da água determina de modo preciso e explícito algumas características da amostra em questão, e assim é vantajosa para se avaliar a qualidade da água (CRUZ et al., 2007).

Segundo COLVARA et al. (2009) a má qualidade da água tem sido diretamente associada às doenças diarreicas de veiculação hídrica, especialmente nas periferias das cidades de países em desenvolvimento e na zona rural, sendo responsáveis por vários surtos epidêmicos e por elevadas taxas de mortalidade infantil.

Através da água muitas doenças podem ser transmitidas ao homem. São as chamadas “doenças de veiculação hídrica”, em que a água serve como meio de transporte de agentes patogênicos eliminados pelo homem através de dejetos, ou de

poluentes químicos e radioativos presentes em esgotos industriais ou em outros resíduos (ROUQUAYROL,1999) .A água pode afetar a saúde do homem de várias maneiras: pela ingestão direta, na preparação de alimentos; na higiene pessoal, na agricultura, na higiene do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer (BRASIL, 2003).

Os principais agentes biológicos encontrados nas águas contaminadas são as bactérias patogênicas, os vírus e os parasitos. As bactérias encontradas na água e/ou alimento constituem uma das principais fontes de morbidade e mortalidade em nosso meio. São responsáveis por numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças/endêmicas (como a cólera e febre tifoide) (BRASIL, 2003). A água para consumo humano deve atender a certos requisitos de qualidade. Os teores de impurezas devem ser limitados, até um nível não prejudicial ao homem, e são estabelecidos pelos órgãos de saúde pública, como padrões de potabilidade (ROUQUAYROL,1999).

5.4.1 Qualidade da Água

Diante dos fatos já mencionados sobre a degradação das águas superficiais e subterrâneas, oriundas de diversas fontes, há de se garantir, contudo medidas que visem garantir água com qualidade para satisfazer as necessidades econômicas e sociais da população em geral. Desse modo, realizar o monitoramento da qualidade da água é algo de suma importância para garantir assim o controle ambiental dos mananciais. No que se diz respeito à qualidade das águas, Tucci (2001, p.47) relata que: a qualidade das águas depende das condições geológicas e geomorfológicas e da cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces, assim como das ações do homem.

As ações do homem que mais podem influenciar a qualidade da água: (a) lançamento de cargas nos sistemas hídricos; (b) alteração do uso do solo rural e urbano; (c) modificações no sistema fluvial. Diante do exposto acima, o monitoramento da qualidade da água possibilita aos gestores realizar uma avaliação do quadro ambiental do manancial, podendo assim auxiliar na tomada de decisão. Contudo, para

realizar o monitoramento da qualidade da água são utilizados indicadores, físicos, químicos e biológicos. Estes indicadores serão descritos abaixo.

5.4.2 Indicadores Físicos

Os indicadores Físicos são medidos em escala própria e são divididos em cinco parâmetros: cor, condutividade elétrica, sabor, odor, sólidos, temperatura e turbidez.

a. Cor: a cor da água é obtida através da reflexão da luz em partículas minúsculas, podendo ser de origem orgânica ou mineral.

b. Condutividade Elétrica: indica a capacidade de transmitir corrente elétrica decorrente da presença de substâncias dissolvidas, nesse caso quanto maior for sua concentração iônica, maior será sua capacidade de conduzir corrente elétrica.

c. Sabor e Odor: está associado à presença de substâncias químicas, como poluentes industriais, além da atuação de micro-organismos, como por exemplo, as algas que podem ocasionar diversos tipos de odores. Deve-se ressaltar que para fins de consumo humano a água deve ser inodora.

d. Sólidos: podem ser também considerados como indicadores químicos e biológicos. Estão distribuídos na água como materiais em suspensão, que são passivos de retenção durante o processo de filtração e os sólidos dissolvidos podem ser oriundos de processos erosivos e detritos orgânicos.

e. Temperatura: a temperatura afeta diretamente os organismos aquáticos e influencia diretamente a velocidade das reações químicas e a solubilidade das substâncias. Em geral as águas presentes nos ambientes aquáticos brasileiros apresentam temperatura média entre 20°C e 30°C. Destaca-se ainda que águas com temperaturas elevadas podem ser rejeitadas para o consumo humano.

f. Turbidez: a turbidez refere-se ao grau de interferência da passagem de luz através do líquido. A interferência resulta num espalhamento devido as partículas em suspensão (areia, silte, argila, algas e detritos). Um dos principais agentes que alteram a turbidez é a erosão do solo, responsáveis por depositar uma grande quantidade de material sólido nos corpos d'água. Além da erosão, merece destaque a atividade mineradora e os efluentes industriais depositados nos córregos, rios e lagos. Os

elevados índices de turbidez podem levar ao aumento do uso de produtos químicos, ocasionando assim na elevação do custo no tratamento.

5.4.3 Indicadores Químicos

Os indicadores químicos são estimados através de métodos analíticos, devido à presença de substâncias dissolvidas na água. As variáveis químicas de análise são medidas em mg/L (miligramas por litro) ou ppm (partículas por milhão). Abaixo segue os tipos de indicadores químicos utilizados na análise de água.

pH: refere-se ao potencial hidrogeniônico e está relacionado as condições de acidez ou alcalinidade de uma substância, no qual é medido através da presença dos íons de Hidrogênio (H^+). O valor medido é obtido através de uma escala antilogarítmica de 0 a 14, sendo que o resultado de $pH > 7$ indica acidez e o $pH < 7$ refere-se à alcalinidade da amostra. O pH afeta diretamente a vida do ecossistema aquático e a sua alteração pode ser de origem natural (através da dissolução das rochas) ou antropogênica (despejo de resíduos domésticos e industriais).

Dureza: indica a presença de cátions na água, sendo os mais frequentes o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg). Pode ser classificada como dureza de carbonato e dureza de não carbonato. A dureza da água é expressa em mg/L, equivalente ao carbonato de cálcio ($CaCO_2$), podendo ser classificada em mole ou branda para valores de 300 mg/L para fins de abastecimento. O valor de padrão de dureza mínimo estabelecido é de 500 mg/L.

Cloretos: são originários da dissolução de minerais referentes ao encontro da água do mar ou do despejo de esgoto doméstico e/ou industrial. A presença destes pode ocasionar o sabor salgado da água.

Ferro e Manganês: possuem um valor de potabilidade de 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente.

Oxigênio dissolvido: refere-se a um dos parâmetros mais importantes quando nos referimos a qualidade do ecossistema aquático. As variações de oxigênio dissolvido são decorrentes de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Para que se tenha condições favoráveis de vida aquática são

necessários teores de oxigênio dissolvido de 2 a 5mg/ e 4mg/L para espécies de peixes.

A matéria orgânica da demanda bioquímica (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO) é utilizada para verificar a presença de compostos orgânicos na água. Quando a matéria orgânica está presente em grandes quantidades, pode ocasionar problemas relacionados a cor, odor, turbidez e também afetar a quantidade de oxigênio dissolvido na água. No que se refere a DBO e DQO, estas podem ser diferenciadas devido ao tipo de matéria orgânica estabilizada, sendo mineralizada devido a ação dos micro-organismos (DBO) e decorrentes da ação de processos químicos (DQO).

5.5 Propriedades Físico-Químicas da Água

A água tem uma estrutura molecular simples. Ela é composta de um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio. Cada átomo de hidrogênio liga-se covalentemente ao átomo de oxigênio, compartilhando com ele um par de elétrons. O oxigênio também tem um par de elétrons não compartilhados (Figura 7). Assim, há 4 pares de elétrons em torno do átomo de oxigênio, dois deles envolvidos nas ligações covalentes com o hidrogênio e dois pares não-compartilhados no outro lado do átomo de oxigênio (Atkins, 2006).

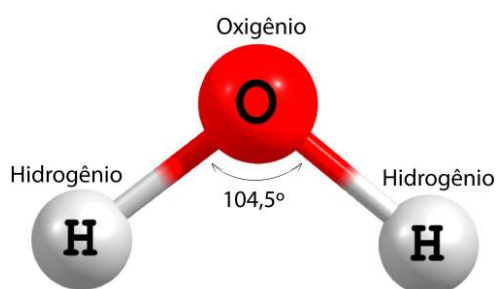


Figura 8: Estrutura molecular da água com seu ângulo de ligação entre os átomos de hidrogênio e oxigênio.

A água é uma molécula "polar", o que quer dizer que ela tem uma distribuição desigual da densidade de elétrons. A água tem uma carga negativa parcial junto ao átomo de oxigênio por causa dos pares de elétrons não compartilhados, e tem cargas positivas parciais junto aos átomos de hidrogênio (Mahan, 1996).

A atração eletrostática entre as cargas positivas parciais dos átomos de hidrogênio e a carga negativa parcial do átomo de oxigênio resulta na formação de uma ligação denominada ligação de hidrogênio. Tais ligações permitem a união entre as moléculas de água. Sem essas ligações de hidrogênio, a temperatura de ebulição da água poderia chegar a -80°C , existindo na superfície terrestre somente na forma gasosa (Brown, 2002).

Várias propriedades peculiares da água são devidas às ligações de hidrogênio (Figura 8). A flutuação do gelo pode ser citada como exemplo, uma vez que tais ligações mantêm as moléculas de água mais afastadas no sólido do que no líquido, onde há uma ligação hidrogênio a menos por molécula. Também é devido às ligações de hidrogênio o elevado calor de vaporização, a forte tensão superficial, o alto calor específico e as propriedades solventes quase universais (Levine, 2008).

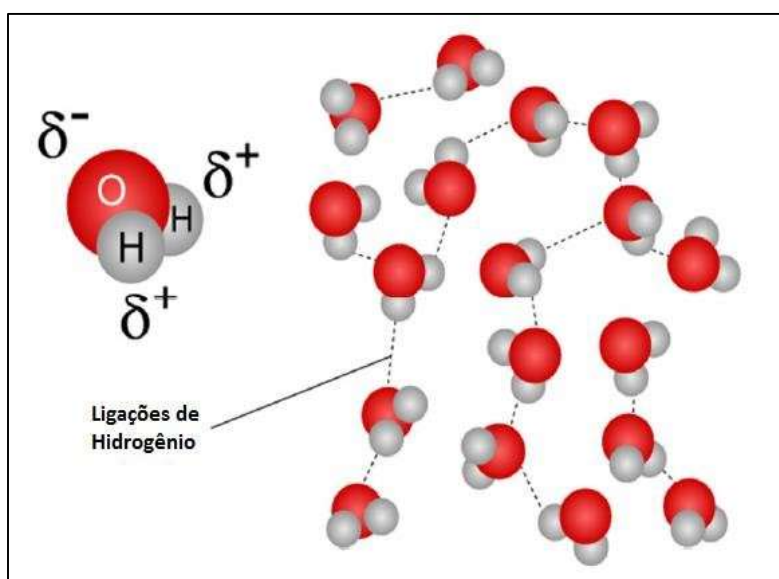


Figura 9: Representação das ligações de hidrogênio entre as moléculas de água.

Em função da natureza química de sua molécula, as propriedades físicas e químicas da água diferem muito das de qualquer outra substância, o que a caracteriza como constituinte fundamental da matéria viva e do meio que a condiciona.

Uma das propriedades mais importantes da água líquida é a sua capacidade de dissolver substâncias polares ou iônicas para formar soluções aquosas. A

interação entre as moléculas do solvente (água) e as do soluto são responsáveis pelo processo de solubilização: cada íon negativo, situado no interior de uma solução aquosa, atrai as extremidades positivas das moléculas de água vizinhas, o mesmo acontecendo com os íons positivos relativamente às extremidades negativas. Isso faz com que os íons fiquem como que recobertos por uma camada de moléculas de água solidamente ligadas a eles, o que confere grande estabilidade à solução. Nisso consiste o importante fenômeno da hidratação dos íons. A hidratação dos íons é que promove a "quebra" do retículo cristalino da substância iônica, ou seja, a dissolução: as forças existentes entre os cátions e ânions no sólido (ligação iônica) são substituídas por forças entre a água e os íons (Atkins, 2006).

A capacidade térmica é definida pela quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1g (grama) de uma determinada substância, e a unidade de medida utilizada é a caloria. A capacidade térmica da água é bem elevada (1 cal/°C), quando comparada com a maioria das substâncias conhecidas (< 1 cal/°C). A água é capaz de adquirir ou perder muito mais calor que outras substâncias comuns, quando submetida à mesma temperatura. Esta propriedade da água é sempre relacionada com a presença das pontes de hidrogênio (Levine, 2008).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Parâmetros Físico-Químicos

6.1.1 Temperatura

A temperatura é uma medida relacionada a quantidade de calor de uma amostra, sendo que a variação de temperatura está relacionada a vários fatores naturais, como condução, convecção e radiação térmica, além da presença de outras substâncias. Como consequência do aumento de temperatura, há o favorecimento da solubilização de algumas substâncias presentes na amostra, o que também diminui a solubilidade dos gases segundo Von Sperling (2005).

6.1.1.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de temperatura

- a) Medidor multiparâmetro para pH/ORP, EC, OD, Temperatura e Turbidez - marca: HANNA e modelo: HI9829;
- b) Sonda multiparâmetro;
- c) Água destilada;
- c) Papel absorvente;
- d) Amostras de água dos poços outorgados PT-01 e PT-02;
- e) Amostras de água da saída do sistema de tratamento.

6.1.1.2 Procedimento para análise

- a) Ligar o medidor multiparâmetro e esperar a sua estabilização;
- b) Umedecer a sonda multiparâmetro com água destilada e enxugá-la com papel absorvente;
- c) Introduzir a sonda multiparâmetro na amostra a ser examinada e aguardar até 2 minutos para fazer a leitura;
- d) Lavar novamente e deixá-la imersa em água destilada;
- e) Desligar o aparelho.

No geral as temperaturas das amostras analisadas variaram entre 23,9 e 29,1 °C, conforme apresentado na figura 9, cujos valores numéricos estão apresentados no Anexo 1. Entretanto só foram consideradas as temperaturas mensuradas no momento da coleta, sendo desconsiderada aquelas após chegada em laboratório para análise, pois as mesmas foram acondicionadas em gelo até o laboratório de análise, o que não condiz com a temperatura real dos locais de retirada. A figura 9 apresenta os valores das amostras coletadas no período de maio de 2019 a julho de 2021.

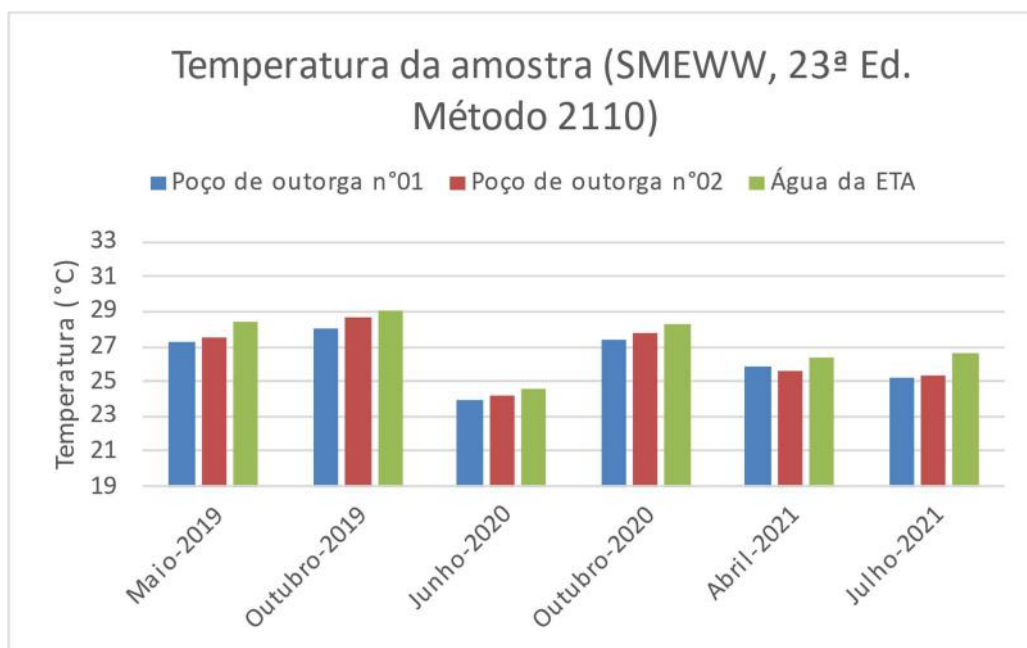


Figura 10: Gráfico de temperatura das amostras de água coletadas nos poços de outorga PT-01, PT-02 e da ETA.

6.1.2 Turbidez

A turbidez é um parâmetro de aspecto físico de aceitação ou rejeição do produto, e o valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 5,0 NTU (unidade nefelométrica de turbidez) (CORREIA et al., 2008).

A turbidez é a medida da clareza relativa de um líquido, e está relacionada a característica óptica da água. A medida é realizada quando a luz incide na amostra e ocorre o espalhamento da luz. Quanto maior for a intensidade da luz espalhada, maior será a turbidez. Os materiais que tornam a água turva incluem argila, lodo, matéria orgânica e inorgânica, algas, compostos orgânicos coloridos e dissolvidos, plânctons e outros organismos microscópicos (CARVALHO et al., 2005).

Embora a turbidez não seja um indicador direto de risco à saúde, vários estudos mostram uma forte relação entre a remoção da turbidez e a remoção dos protozoários. As partículas de turbidez fornecem "abrigo" para os micróbios, reduzindo sua exposição ao ataque de desinfetantes. A fixação microbiana ao material particulado foi considerada uma ajuda na sobrevivência do micróbio (GUIMARÃES et al., 2017).

Quanto aos aspectos das amostras estudadas, nenhuma apresentou alterações e apresentaram-se límpidas, entretanto, com algumas partículas em

suspensão. As legislações do Ministério da Saúde (MS) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) não preconizam aspecto, porém partículas em suspensão na água a deixa com aspecto negativo perante os consumidores (SILVA & ARAÚJO, 2003). Além disso, nenhuma das amostras analisadas apresentou algum tipo odor e gosto diferente, atendendo assim as normas da legislação vigente.

6.1.2.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de turbidez

- a) Medidor multiparâmetro para pH/ORP, EC, OD, Temperatura e Turbidez - marca: HANNA e modelo: HI9829;
- b) Sonda multiparâmetro;
- c) Água destilada;
- c) Papel absorvente;
- d) Amostras de água dos poços outorgados PT-01 e PT-02;
- e) Amostras de água da saída do sistema de tratamento.

6.1.2.2 Procedimento para análise de turbidez

- a) Ligar o medidor multiparâmetro e esperar a sua estabilização;
- b) Umedecer a sonda multiparâmetro com água destilada e enxugá-la com papel absorvente;
- c) Introduzir a sonda multiparâmetro na amostra a ser examinada e aguardar até 2 minutos para fazer a leitura;
- d) Lavar novamente e deixá-la imersa em água destilada;
- e) Desligar o aparelho.

6.1.3 pH

O pH é uma medida de partículas eletricamente carregadas em uma substância. Água com pH muito baixo ou elevado pode ser um sinal de poluição química ou contaminação por metais pesados (ALMEIDA, SILVA & DE PAULA, 2017).

Água que não se encontra na faixa de pH “segura” de 6,5 a 8,5, especialmente se for alcalina, não é necessariamente insegura. No entanto, a água muito alcalina pode ter um cheiro ou gosto desagradável e também pode danificar canos e aparelhos de transporte de água (HONORATO & COSTANZI, 2018).

Todas amostras de água analisadas nesse trabalho tiveram um pH adequado para o consumo, sendo que a faixa de pH das amostras variou entre 6,92 e 7,15. A tabela 1 mostra o pH de diferentes fontes de água e a figura 10 apresenta os valores de pH obtidos das amostras de água coletadas neste trabalho. Os valores exatos dos resultados podem ser obtidos no Anexo 1 deste trabalho.

Tabela 1: Valores de pH de diferentes tipos de fontes de água.

Tipo de água	Nível de pH
Água da torneira	Varia, normalmente cerca de 7,5
Água destilada de osmose reversa	5 a 7
Águas engarrafadas comuns	6,5 a 7,5
Águas engarrafadas rotuladas como alcalinas	8 a 9
Água do oceano	Cerca de 8
Chuva ácida	5 a 5,5

Fonte: HealthLine, 2019.

6.1.3.1 Materiais, reagentes e equipamento para análise de pH

- a) Medidor multiparâmetro para pH/ORP, EC, OD, Temperatura e Turbidez - marca: HANNA e modelo: HI9829;
- b) Sonda multiparâmetro;
- c) Água destilada;
- c) Papel absorvente;
- d) Amostras de água dos poços outorgados PT-01 e PT-02;
- e) Amostras de água da saída do sistema de tratamento.

6.1.3.2 Procedimento para análise

- a) Ligar o medidor multiparâmetro e esperar a sua estabilização;
- b) Umedecer a sonda multiparâmetro com água destilada e enxugá-la com papel absorvente;
- c) Introduzir a sonda multiparâmetro na amostra a ser examinada e aguardar até 2 minutos para fazer a leitura;
- d) Lavar novamente e deixá-la imersa em água destilada;
- e) Desligar o aparelho.

Calibração

O medidor multiparâmetro que analisa os parâmetros de campo das amostras de água dos poços da outorga e do sistema de tratamento passa por calibrações frequentes para validação da análise e do equipamento com reconhecimento de 5 padrões (pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18 e 10.01).

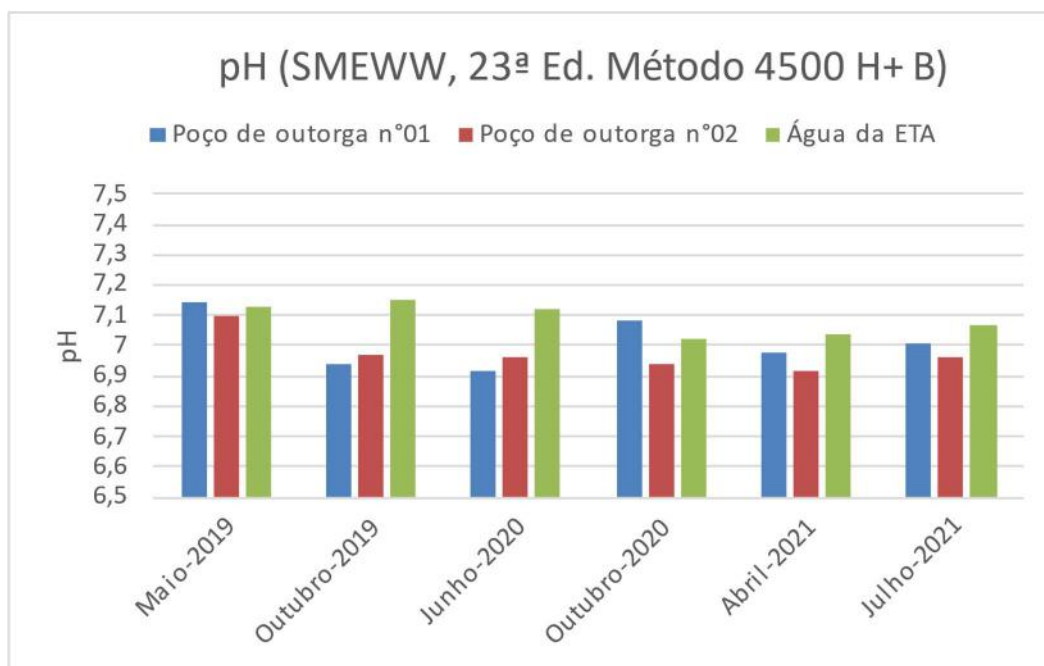


Figura 11: Gráfico com valores de pH das amostras de água analisadas nos poços de outorga PT-01, PT-02 e da ETA.

6.1.4 Cloro Residual Livre

O uso de cloro no tratamento de água pode ter como objetivo a desinfecção, a oxidação ou ambas as ações (MEYER, 1994). A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração (BAZZOLI, 1993), embora o cloro e seus compostos sejam fortes agentes oxidantes. Alguns compostos orgânicos dissolvidos também reagem rapidamente com o cloro, mas em geral são necessárias algumas horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos se complete (MEYER, 1994).

É importante que se garanta o tempo de contato mínimo e a manutenção do cloro residual livre de no mínimo 0,2 mg/L e máximo de 2 mg/L em todo o sistema de distribuição. Nesse sentido, chama-se atenção para os casos em que um único ponto de aplicação do desinfetante não seja suficiente, sendo necessário adicionar o cloro em pontos intermediários na rede de distribuição, a fim de garantir o residual nas pontas de rede (BRASIL, 2011).

A etapa de desinfecção no tratamento de água é de extrema importância para garantia da água potável com qualidade sanitária. A cloração é o método mais utilizado nesse processo, pois propicia a inativação e/ou destruição dos microrganismos patogênicos. Para medição do seu teor residual na água distribuída à população, o método DPD (indicador "N, N-dietil-p-fenileno-diamina) colorimétrico é o mais utilizado.

Durante o processo de desinfecção a concentração de desinfetante não é uniforme ao longo do sistema de distribuição de água, podendo decair em função de reações com substâncias orgânicas e inorgânicas, reagindo com biofilme formados nas tubulações e reagindo com o material da tubulação dependendo das condições do escoamento (BRASIL, 2012). Portanto, a desinfecção constitui-se em uma operação unitária obrigatória no tratamento da água, cuja função básica consiste na inativação dos microrganismos patogênicos, realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos. O controle da concentração mínima necessária na rede de distribuição restringe a proliferação de microrganismos garantindo segurança ao consumidor (BRASIL, 2014b).

A presença de cloro livre (também conhecido como cloro residual, cloro residual livre, cloro residual) na água potável indica que uma quantidade suficiente de cloro foi adicionada inicialmente à água para inativar as bactérias e alguns vírus, que causam doenças diarreicas e a água é protegida de recontaminação durante o armazenamento. A presença de cloro livre na água potável está correlacionada com a ausência da maioria dos organismos causadores de doenças e, portanto, é uma medida da potabilidade da água (LOURENÇO, 2012).

Quando o cloro é adicionado à água, parte do cloro reage primeiramente com materiais inorgânicos, orgânicos e metais presentes na água e conseqüentemente água fica ausente de cloro disponível para desinfecção (isso é chamado de demanda de cloro da água). Depois que a demanda de cloro é atendida, o cloro restante é chamado de cloro total. O cloro total é dividido em: a) cloro combinado - que é a quantidade de cloro que reagiu com moléculas inorgânicas (nitratos, etc.) e orgânicas contendo nitrogênio (ureia, etc.); e b) cloro livre - que é o cloro que sobra e fica disponível para inativar organismos causadores de doenças. Assim, o cloro total é igual à soma das medições combinadas de cloro e cloro livre (PIXININ, 2019).

O método DPD colorimétrico é operacionalmente mais simples para a determinação de cloro residual livre. Neste método, o composto (DPD) é usado como indicador. A cor rosada característica desenvolve-se em águas que não contêm iodeto e indica a presença de cloro residual livre. O DPD é oxidado por cloro livre, resultando numa solução com uma intensidade de cor proporcional à concentração de cloro livre.

6.1.4.1 Materiais, reagentes, vidrarias e equipamento para análise de Cloro Residual Livre

- a) Fotômetro Portátil para Cloro Residual Livre – marca: HANNA e modelo: HI97734C;
- b) Cubetas de acrílico;
- c) DPD para cloro livre;
- d) Amostras de água dos poços outorgados PT-01 e PT-02;
- e) Amostras de água da saída do sistema de tratamento;
- f) Papel absorvente;

g) Água destilada.

6.1.4.2 Procedimento para análise de Cloro Residual Livre

- a) Avolumar a cubeta com água da amostra a ser analisada até a marca de 5,0 ml;
- b) Ajusta-se o zero do aparelho com a amostra (sem reagente), de forma a eliminar a potencial interferência da cor e turvação da mesma;
- c) Avolumar outra cubeta até a marca de 5,0 ml com a amostra a ser testada;
- d) Adiciona-se o reagente DPD para determinação do Cloro Livre e agita-se a cubeta para dissolução do reagente (no caso do reagente sólido);
- e) Colocar a cubeta no compartimento do aparelho;
- f) Clicar na tecla de leitura para obtenção da concentração em cloro residual livre, dada diretamente pelo equipamento em mg/L.

A Figura 12 apresenta os resultados de cloro livre e de acordo com os valores obtidos, observa-se que todos estão dentro dos limites aceitáveis de 0,2 a 5,0 mg/L. Novamente, também o Anexo 1 apresenta os valores exatos obtidos de cloro residual livre em cada amostra.

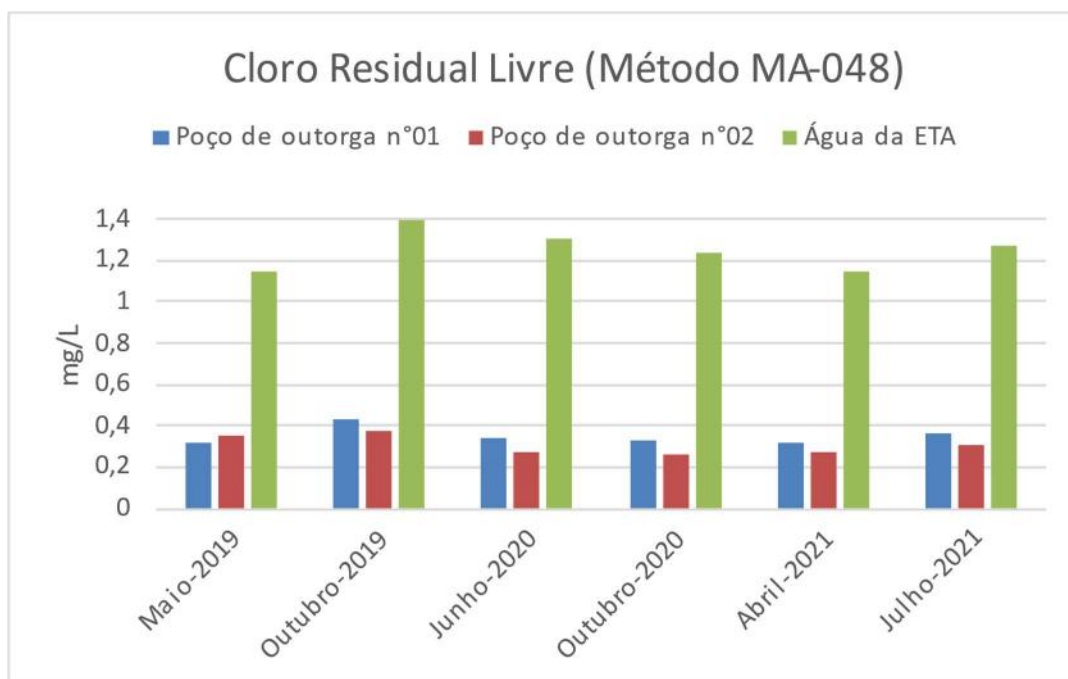


Figura 12: Gráfico com valores de cloro residual presentes nas amostras de água dos poços PT-01, PT-02 e da ETA.

6.2 Parâmetros Microbiológicos

6.2.1 Coliformes Totais e Escherichia coli

Os coliformes totais são um grupo de bactérias relacionadas que (com poucas exceções) não são prejudiciais aos humanos. Uma variedade de bactérias, parasitas e vírus, conhecidos como patógenos, podem causar problemas de saúde se houver a ingestão pelos humanos. Os coliformes totais são usados para determinar a adequação do tratamento de água e a integridade do sistema de distribuição.

A poluição da água por contaminação fecal é considerada um problema, devido ao potencial de contrair doenças de patógenos (organismos causadores de doenças). As concentrações de patógenos de contaminação fecal são pequenas, no entanto, o número de diferentes patógenos possíveis é grande. Como resultado, não é prático testar patógenos em todas as amostras de água coletadas. Por esse motivo, a presença de patógenos é determinada com a evidência indireta por meio do teste com um organismo "indicador", tal como as bactérias coliformes. Os coliformes vêm das mesmas fontes que os organismos patogênicos.

Os coliformes são relativamente fáceis de identificar, geralmente estão presentes em maior número do que os patógenos mais perigosos e respondem ao meio ambiente, ao tratamento de águas residuais e ao tratamento de água de maneira semelhante a muitos patógenos. Como resultado, o teste de bactérias coliformes pode ser uma indicação razoável da presença de outras bactérias patogênicas.

A contagem total de coliformes dá uma indicação geral das condições sanitárias de um abastecimento de água.

Os resultados das análises das amostras de água foram comparados com os padrões estabelecidos para consumo humano, na legislação em vigor no Brasil. A qualidade da água distribuída deve respeitar a Portaria de Consolidação Nº 5/2017, através da realização de ensaios microbiológicos e físico-químicos em amostras coletas nos poços tubulares outorgados e na saída do sistema de tratamento.

6.2.1.1 Materiais, reagentes, vidrarias e equipamento para análise de Coliformes Totais e Escherichia coli

- a) Os meios de cultura utilizados no Teste dos Tubos Múltiplos foram o Caldo Lactosado (concentração simples e dupla), Caldo Lactosado Verde Brilhante Bile 2% e Caldo EC. Todos os meios foram distribuídos em tubos de ensaio contendo um tubo de Durham na posição invertida em seu interior, vedado com algodão e autoclavados a 121°C;
- b) Tubo de Durham;
- c) Tubo de ensaio;
- d) Estante para tubos de ensaio;
- e) Estufa;
- f) Incubadora bacteriológica (35°C ± 2°C);
- g) Micropipetador 100 a 1000µL;
- h) Ponteiras universais 100 a 1000µL;
- i) Alça de platina.

6.2.1.2 Procedimento para análise de Coliformes Totais e Escherichia coli

As análises foram realizadas em duplicatas. Para o teste presuntivo foram empregados 9 tubos de ensaio para cada amostra de água, distribuídos em três. Nos primeiros três tubos, que continham caldo lactosado de concentração dupla, foram inoculados, com pipeta estéril, 10 mL da amostra da água em cada tubo (diluição 1:1). Nos demais tubos, que continham caldo lactosado de concentração simples, foi inoculado 1 mL da amostra nos três primeiros (diluição 1:10) e 0,1 mL nos três últimos (diluição 1:100). Após homogeneizar o conteúdo dos tubos, estes foram incubados em estufa a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 24/48 horas. O número de tubos do teste presuntivo teve como resultado negativo, contendo em cada um, 10 mL do Caldo Lactosado Verde Brilhante Bile 2%. Para realização deste teste, com uma alça de platina flambada e fria, foi retirada de cada tubo positivo uma porção da amostra e inoculada no tubo contendo o caldo verde brilhante. Os tubos foram identificados e em seguida levados à incubadora 24/48 horas a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Não houve a formação de gás no tubo de Durham confirmando a ausência de coliformes totais nas 03 amostras de água analisadas.

Para determinar a presença ou ausência de coliformes Escherichia Coli foi realizada a análise chamada ensaio com o teste dos tubos múltiplos, simultaneamente ao teste confirmativo. Para a realização do teste foram utilizados todos os tubos nas três diluições, tanto os de resultado positivo quanto os de resultado negativo do teste presuntivo, que apresentaram crescimento de bactéria após as 48 h do teste. Foi transferida com alça de platina flambada e fria uma porção desses meios para tubos de ensaio contendo 10 mL do caldo EC. Os tubos foram identificados, mantendo o controle de proporção 1:1, 1:10 e 1:100, e em seguida foram deixados em banho-maria por 24 ± 2 h a $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$. Ao final desse tempo, não houve a formação de bolhas de gás nos tubos de Durham indicando que se obteve ausência de coliformes de Escherichia Coli nas 03 amostras de água analisadas.

A partir das análises foi possível concluir que a água captada dos poços e a água tratada encontram-se em conformidade com o padrão de potabilidade exigido pela legislação, tal que, o seu consumo não causa riscos à saúde humana. Nenhuma das amostras coletadas e analisadas tiveram alteração quanto às normas vigentes e

aceitáveis para a quantidade de coliformes totais e de *Escherichia coli* (Tabela 2), sendo assim, consideradas adequadas para o consumo e sua utilização.

Tabela 2: Resultados obtidos dos ensaios de microbiologia para coliformes totais e *Escherichia coli*

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia	
		Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
		Método: SMEWW, 23° Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23° Edição, Método 2550B
Maio-2019	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Maio-2019	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Maio-2019	Água da ETA	Ausente	Ausente
Outubro-2019	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Outubro-2019	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Outubro-2019	Água da ETA	Ausente	Ausente
Junho-2020	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Junho-2020	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Junho-2020	Água da ETA	Ausente	Ausente
Ouubro-2020	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Ouubro-2020	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Ouubro-2020	Água da ETA	Ausente	Ausente
Abril-2021	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Abril-2021	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Abril-2021	Água da ETA	Ausente	Ausente
Julho-2021	Poço de outorga n°01	Ausente	Ausente
Julho-2021	Poço de outorga n°02	Ausente	Ausente
Julho-2021	Água da ETA	Ausente	Ausente

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água é considerada um dos recursos naturais indispensáveis para o homem, porém, a água para o consumo humano sem o tratamento adequado apresenta-se como um dos principais veículos de parasitas e microrganismos causadores de doenças, tornando-se um elemento de risco à saúde da população que a consome em más condições de potabilidade. A água para o consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade determinados pela legislação.

De acordo com as normas vigentes, foi possível realizar a avaliação da qualidade da água de dois poços outorgados e de uma ETA, na zona rural de Macaé, Rio de Janeiro. Especialmente no que se refere à potabilidade para o consumo humano.

Conforme os resultados apresentados nesse trabalho, foi possível concluir que as amostras atendem ao padrão de potabilidade para os parâmetros de análise físico-química, uma vez que todas amostras atenderam os valores máximos e mínimos permitidos pela legislação vigente. Os resultados obtidos nas análises microbiológicas, mostraram que as amostras coletadas de água estavam dentro do limite aceitável, sendo consideradas ausentes de presença de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Portanto os resultados mostraram que a água captada, tratada e oferecida na empresa é de boa qualidade, não acarretando nenhum risco a saúde, conforme descrito na Portaria de Consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde.

Este laudo foi compilado conforme as informações obtidas em campo e os dados resultantes de análises laboratoriais para o período em específico, refletindo, portanto, a situação atual do empreendimento em questão. De acordo com os parâmetros analisados para o atendimento de "PRC nº5 de 2017 - Anexos 1, 7 e 10 do ANEXO XX", os resultados reportados atendem aos limites estabelecidos.

Concluindo-se então que a água consumida nas dependências da empresa está livre de qualquer contaminação, seja de origem microbiológica, química e física, demonstrando a eficiência do sistema de tratamento da empresa CTR-Macaé.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 965 p

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água. 3ª ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS /Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação n.5, de 28 de Setembro de 2017. Disponível em: Acesso em: 17 de dezembro de 2021.

BROWN, T. L.; JR, H. E. L.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R.. Química: a ciência central. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002. 952 p.

CARMO, R.F.; BEVILACQUA, P.D.; BASTOS, R.K.X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: Abordagem qualitativa da identificação de perigos. Engenharia sanitária ambiental, v. 13, n.4, p. 426-434, 2008.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 592 p. v. 7.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

CORREIA, Aislan et al. Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. 8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, v. 10, 2008.

CARVALHO, Fernando Tadeu et al. Influência da turbidez da água do rio Tietê na ocorrência de plantas aquáticas. Planta Daninha, v. 23, p. 359-362, 2005.

GUIMARÃES, Ana Paula Martins et al. Avaliação do pH, turbidez e análise microbiológica da água do córrego guará velho em Guaraí, estado do Tocantins.

ANEXO 1

A seguir, são apresentados os valores exatos obtidos nas leituras e ensaios de cada amostra considerada no presente estudo.

Tabela 1: Medições de campo de 2019

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Maio-2019	Poço de outorga n°01	Límpida	27.2	(6.0 a 9.5)	7.14	(0.2 a 5.0)	0.32
Maio-2019	Poço de outorga n°02	Límpida	27.5		7.10		0.35
Maio-2019	Água da ETA	Límpida	28.4		7.13		1.15
Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Outubro-2019	Poço de outorga n°01	Límpida	28.0	(6.0 a 9.5)	6.94	(0.2 a 5.0)	0.43
Outubro-2019	Poço de outorga n°02	Límpida	28.6		6.97		0.38
Outubro-2019	Água da ETA	Límpida	29.1		7.15		1.39

Tabela 2: Medições de campo de 2020

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Junho-2020	Poço de outorga n°01	Límpida	23.9	(6.0 a 9.5)	6.92	(0.2 a 5.0)	0.34
Junho-2020	Poço de outorga n°02	Límpida	24.2		6.96		0.27
Junho-2020	Água da ETA	Límpida	24.6		7.12		1.31
Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Outubro-2020	Poço de outorga n°01	Límpida	27.4	(6.0 a 9.5)	7.08	(0.2 a 5.0)	0.33
Outubro-2020	Poço de outorga n°02	Límpida	27.8		6.94		0.26
Outubro-2020	Água da ETA	Límpida	28.3		7.02		1.24

Tabela 3: Medições de campo de 2021

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Abril-2021	Poço de outorga n°01	Límpida	25.9	(6.0 a 9.5)	6.98	(0.2 a 5.0)	0.32
Abril-2021	Poço de outorga n°02	Límpida	25.6		6.92		0.27
Abril-2021	Água da ETA	Límpida	26.4		7.04		1.15

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Aparência	Temperatura da amostra (°C)	pH		Cloro Residual livre (mg/L)	
		Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2110	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 2550B	Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Julho-2021	Poço de outorga n°01	Límpida	25.2	(6.0 a 9.5)	7.01	(0.2 a 5.0)	0.36
Julho-2021	Poço de outorga n°02	Límpida	25.4		6.96		0.31
Julho-2021	Água da ETA	Límpida	26.6		7.07		1.27

Tabela 4: Parâmetros microbiológicos avaliados em 2019

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Maio-2019	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Maio-2019	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Maio-2019	Água da ETA		Ausência		Ausência

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23º Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Outubro-2019	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Outubro-2019	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Outubro-2019	Água da ETA		Ausência		Ausência

Tabela 5: Parâmetros microbiológicos avaliados em 2020

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23ª Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Junho-2020	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Junho-2020	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Junho-2020	Água da ETA		Ausência		Ausência
Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23ª Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Outubro-2020	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Outubro-2020	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Outubro-2020	Água da ETA		Ausência		Ausência

Tabela 6: Parâmetros microbiológicos avaliados em 2021

Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23ª Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Abril-2021	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Abril-2021	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Abril-2021	Água da ETA		Ausência		Ausência
Mês-Ano do ensaio	Amostra / Ponto de Coleta	Microbiologia			
		Coliformes Totais		Escherichia coli	
		Limite Aceitável	Método: SMEWW, 23ª Edição, Método 4500 H+ B	Limite Aceitável	Método: MA-048
Julho-2021	Poço de outorga n°01	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência
Julho-2021	Poço de outorga n°02		Ausência		Ausência
Julho-2021	Água da ETA		Ausência		Ausência