

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ARLIANA CAON

SUBSTITUIÇÃO DE INSUMOS PARA REDUÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA
ÁGUA EM UMA CERVEJARIA DE LAGES/SC: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL

LAGES
2021

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ARLIANA CAON

SUBSTITUIÇÃO DE INSUMOS PARA REDUÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA
ÁGUA EM UMA CERVEJARIA DE LAGES/SC: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Everton Skoronski;
Coorientador: Prof. Dr. Gilmar Conte.

LAGES
2021

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Caon, Arliana

Substituição de insumos para redução de trihalometanos na água em uma cervejaria de Lages/SC: avaliação da qualidade físico-química e sensorial / Arliana Caon. -- 2021.

78 p.

Orientador: Everton Skoronski

Coorientador: Gilmar Conte

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2021.

1. Trihalometanos. 2. Tanino vegetal. 3. Dióxido de cloro. 4. Água cervejeira. 5. Análise sensorial. I. Skoronski, Everton. II. Conte, Gilmar. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. IV. Título.

ARLIANA CAON

**SUBSTITUIÇÃO DE INSUMOS PARA REDUÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA
ÁGUA EM UMA CERVEJARIA DE LAGES/SC: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

BANCA EXAMINADORA

Everton Skoronski, Doutor
Universidade do Estado de Santa Catarina

Gilmar Conte, Doutor
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Viviane Trevisan, Doutora
Universidade do Estado de Santa Catarina

Mauricio Alves da Motta Sobrinho, Doutora
Universidade Federal de Pernambuco

Lages, 22 de dezembro de 2021.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.” Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e oportunidade de voltar aos estudos.

À minha família, pela educação, pelos valores transmitidos, pelo apoio e compreensão nos momentos de minha ausência.

Aos professores Everton Skoronski e Gilmar Conte, pela empatia, orientação e conhecimentos compartilhados.

À gerente Claudia Alves, pela flexibilidade para que fosse possível conciliar os meios acadêmico e profissional.

Às equipes de trabalho da Estação de Tratamento de Água e do Laboratório de Qualidade Assegurada da Cervejaria, e à equipe do LABTRAT – UDESC pelo auxílio e contribuição para o projeto.

À Cervejaria em que o projeto aconteceu, pela oportunidade de desenvolvimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade do curso de mestrado.

CAON, Arliana. **Substituição de insumos para redução de trihalometanos na água em uma cervejaria de Lages/SC**: Avaliação da qualidade físico-química e sensorial. 2021. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2021.

RESUMO

A água é um recurso fundamental e precisa estar disponível em qualidade e quantidade suficiente para atender as necessidades físicas, sociais e econômicas da população. O setor econômico que mais consome água atualmente é a agricultura, seguido da indústria, onde se pode destacar no setor de bebidas, a indústria cervejeira. Além da necessidade da disponibilidade em termos de volume deste recurso natural para a indústria cervejeira, é de extrema importância a sua qualidade, uma vez que a água é o principal constituinte da cerveja, e contribui significativamente para a qualidade sensorial do produto acabado. Dentro deste contexto, pesquisas para aperfeiçoar os tratamentos de água convencionais para a indústria cervejeira são cada vez mais necessárias. O presente estudo teve como principal objetivo avaliar processos alternativos de tratamento de água para redução da formação de THM no tratamento da água cervejeira por meio da substituição do coagulante e do agente de desinfecção utilizado em uma estação de tratamento de água. Os processos alternativos estudados envolveram a substituição do coagulante sulfato de alumínio por coagulante a base de tanino modificado e a substituição da cloração via cloro livre pela desinfecção com dióxido de cloro, devido a infraestrutura da ETA. Os ensaios de tratabilidade foram realizados em escala piloto utilizando a técnica de *jar test*, com agitação de 120 rpm durante 1 minuto para a etapa de coagulação, agitação de 60 rpm durante 20 minutos na etapa de floculação e repouso de 20 minutos para a sedimentação dos flocos. Além disso, foi avaliada a influência da mudança dos agentes coagulante e desinfetante na remoção de cor aparente, turbidez e matéria orgânica natural, que foi quantificada através do método baseado na reação de oxidação do permanganato de potássio em meio ácido, com objetivo de oxidar a matéria orgânica presente, sendo que esta concentração é obtida através da quantidade de permanganato consumido; no desenvolvimento de microrganismos; na formação de THM; e na qualidade sensorial da água. Os ensaios sensoriais contemplaram a avaliação visual, de sabor e de odor da água tratada, buscando analisar se houveram desvios sensoriais causados pelos compostos THM. Os impactos sensoriais na água e na cerveja causados pelos THM remetem a cloro e são conhecidos, tecnicamente, por sabor e odor característico de “cloro”, “plástico”, e “remédio” ou “medicinal” que são indesejáveis na água e no produto acabado. Com o uso de coagulante a base de tanino modificado, foram obtidos os resultados de remoção de cor aparente, turbidez e MON, de 89%, 94% e 92%, respectivamente. Já com o uso de sulfato de alumínio, os resultados obtidos foram de 86%, 93% e 85%, respectivamente. Os resultados médios de THM obtidos através dos quatro testes foram, em µg/L, de 98 (T1), 8,1 (T2), 58 (T3) e 1,7 (T4). Na análise sensorial, o T4 apresentou maior satisfação entre os degustadores, e na avaliação microbiológica, os quatro testes envolvendo os dois agentes desinfetantes apresentaram resultados ausentes para coliformes totais e termotolerantes. Os resultados obtidos com este estudo, apresentaram o uso de tanino modificado e dióxido de cloro como sendo a melhor combinação, entre as quatro estudadas, para a redução na formação de THM e aceitação sensorial da água cervejeira. O custo dos insumos propostos neste estudo

se apresentou maior que o custo dos insumos atualmente utilizados no tratamento de água.

Palavras- chave: Trihalometanos. Tanino vegetal. Dióxido de cloro. Água cervejeira. Análise sensorial.

CAON, Arliana. **Substitution of inputs to reduce trihalomethanes in water in a brewery in Lages/SC**: evaluation of physicochemical and sensory quality. 2021. 78p. Dissertation (Master in Environmental Sciences) - Graduate Program in Environmental Sciences. Santa Catarina State University, Lages, 2021.

ABSTRACT

Water is a fundamental resource and must be available in sufficient quality and quantity to meet the physical, social and economic needs of the population. The economic sector that currently consumes most of the water is agriculture, followed by industry, where the beverage sector stands out, the brewing industry. Besides the need of the availability in terms of volume of this natural resource for the brewing industry, its quality is of extreme importance, once water is the main constituent of beer, and contributes significantly to the sensory quality of the finished product. Within this context, research for perfecting the conventional water treatments for the brewing industry is increasingly necessary. The present study's main objective was to evaluate alternative water treatment processes to reduce THM formation in brewing water treatment by replacing the coagulant and disinfecting agent used in a water treatment plant. The alternative processes studied involved the replacement of the aluminum sulfate coagulant by a modified tannin-based coagulant and of chlorination via free chlorine by disinfection with chlorine dioxide, due to the WTP infrastructure. The treatability tests were carried out on a pilot scale using the jar test technique, with stirring of 120 rpm for 1 minute for the coagulation stage, stirring at 60 rpm for 20 minutes in the flocculation stage, and rest for 20 minutes for the sedimentation of the flakes. In addition, the influence of changing the coagulating and disinfecting agents on the removal of apparent color, turbidity, and natural organic matter was evaluated, which was quantified through the method based on the oxidation reaction of potassium permanganate in an acidic medium, with the objective of oxidizing the organic matter present, this concentration being obtained through the amount of permanganate consumed; in the development of microorganisms; in the formation of THM; and on the sensory quality of the water. The sensorial tests contemplated the visual, taste and odor evaluation of the treated water, seeking to analyze whether there were sensory deviations caused by THM compounds. Sensory impacts on water and beer caused by THM refer to chlorine and are known, technically, by the characteristic taste and odor of "chlorine", "plastic", and "medicine" or "medicinal" which are undesirable in the water and in the finished product. With the use of modified tannin-based coagulant, the results were obtained from removal of apparent color, turbidity, and MON, of 89%, 94%, and 92%, respectively. Yet with the use of aluminum sulfate, the results obtained were 86%, 93% and 85%, respectively. The average THM results obtained through the four tests were, in $\mu\text{g/L}$, 98 (T1), 8.1 (T2), 58 (T3), and 1.7 (T4). In sensory analysis, T4 showed greater satisfaction among the tasters, and in the microbiological evaluation, the four tests involving the two disinfecting agents showed absent results for total and thermotolerant coliforms. The results obtained with this study showed the use of modified tannin and chlorine dioxide as the best combination, among the four studied, to reduce THM formation and sensory acceptance of brewing water. The cost of inputs proposed in this study was higher than the cost of the inputs currently used in water treatment.

Keywords: Trihalomethanes. Vegetable tannin. Chlorine dioxide. Brewing water. Sensory analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Roda de sabor e odor simplificada para água.....	24
Figura 2 -	Mapa da localização do ponto de captação de água da cervejaria em estudo	26
Figura 3 -	Representação da ETA da Cervejaria em estudo. Legenda: 1 a 6 – flocculadores, 7 a 12 decantadores, 13 a 16 filtros de areia, 17 a 21 - reservatórios	27
Figura 4 -	Formulário de análise sensorial	34
Figura 5 -	Correlação entre a turbidez da água bruta e concentração de THM na água tratada	37
Figura 6 -	Correlação entre a concentração de MON presente na água bruta e a concentração de THM encontrada na água tratada	38
Figura 7 -	Correlação entre cor aparente da água bruta e a concentração de THM da água tratada	39
Figura 8 -	Remoção de cor aparente com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado	40
Figura 9 -	Remoção de turbidez com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado	41
Figura 10 -	Remoção de matéria orgânica com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado	41
Figura 11 -	Residual de cloro livre (T1 e T3) e dióxido de cloro (T2 e T4) nas amostras de água tratada	43
Figura 12 -	Concentração de THM obtida através dos testes T1 e T3	46
Figura 13 -	Concentração de THM obtida através dos testes T2 e T4	47
Figura 14 -	Correlação entre THM e MON obtida através do T1	48
Figura 15 -	Correlação entre MO e THM obtida através do T2	49
Figura 16 -	Correlação entre MO e THM obtida através do T3	49
Figura 17 -	Correlação entre MON e THM obtida através do T4.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos para caracterização da água bruta e precipitação da chuva no mesmo período	36
Tabela 2 - Parâmetros estatísticos para THM total e principais compostos de THM presentes na água tratada no mesmo período.....	37
Tabela 3 - Análise dos residuais de cloro livre e dióxido de cloro na água tratada através dos quatro testes	42
Tabela 4 - Concentração de THM total e principais compostos de THM identificados a partir dos quatro testes realizados	45
Tabela 5 - Teste de Tukey	48
Tabela 6 - Conformidade sensorial	51
Tabela 7 - Padrão bacteriológico de potabilidade da água	52
Tabela 8 - Avaliação microbiológica.....	52
Tabela 9 - Avaliação econômica dos insumos para o tratamento da água	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CEPSH	Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos
CG	Cromatografia Gasosa
DCE	Detector de Captura de Elétrons
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia Coli</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
MON	Matéria Orgânica Natural
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i> (Unidade nefelométrica de turbidez)
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Sistema de Abastecimento Coletivo
SAI	Sistema de Abastecimento Individual
SPDs	Subprodutos de Desinfecção
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
THMs	Trihalometanos
T1	Teste 1: Sulfato de alumínio + hipoclorito de sódio
T2	Teste 2: Sulfato de alumínio + dióxido de cloro
T3	Teste 3: Tanino modificado + hipoclorito de sódio
T4	Teste 4: Tanino modificado + dióxido de cloro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	METODOLOGIA	26
2.1	Local de estudo e caracterização da água bruta	26
2.2	Ensaio de tratabilidade	28
2.2.1	Ensaio de <i>jar test</i>	29
2.2.2	Desinfecção e análise do residual de cloro livre e dióxido de cloro	30
2.3	Análise de THM₃₁	31
2.4	Análise sensorial	32
2.5	Análises microbiológicas	34
2.6	Análises estatísticas	35
2.7	Análise econômica prévia	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1	Caracterização da água bruta	36
3.2	Avaliação da remoção de cor aparente, turbidez e matéria orgânica	39
3.3	Avaliação do residual de cloro livre e dióxido de cloro na água tratada ..	42
3.4	Avaliação da formação de trihalometanos	44
3.5	Avaliação da qualidade sensorial	50
3.6	Avaliação da qualidade microbiológica	52
3.7	Avaliação econômica prévia	53
4	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE	61
	APÊNDICE A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISAS	62
	ANEXOS	69
	ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO ÁGUA BRUTA E QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	70

ANEXO B – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NA ÁGUA TRATADA.	71
ANEXO C – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T1	72
ANEXO D – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T2	73
ANEXO E – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T3	74
ANEXO F – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T4	75
ANEXO G – RESULTADOS SENSORIAIS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELOS TESTES T1, T2, T3 E T4	76
ANEXO H – RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELOS TESTES T1, T2, T3 E T4.....	77

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água, em quantidade e qualidade adequadas, para diversos usos, é um fator primário para o desenvolvimento socioeconômico de uma região. Na estimativa nacional de consumo de água, o setor industrial representa o terceiro maior uso, atrás apenas do abastecimento humano urbano e da agricultura irrigada (ANA, 2017). Estudos desenvolvidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), referentes ao consumo de água, revelam que os setores de fabricação de alimentos e bebidas contribuem para a retirada de 85% de água e por 90% do consumo do recurso pela indústria da transformação e dentro deste contexto, podemos citar o processo de produção de cerveja.

A cerveja é uma bebida complexa contendo mais de 3.000 compostos diferentes, incluindo carboidratos, proteínas, íons, micróbios, ácidos orgânicos e polifenóis, entre outros (ANDERSON ET AL., 2019; KUNZE, 1999), e o seu processo de elaboração envolve diversos ramos da ciência, como é o caso da química, bioquímica e microbiologia, desde as transformações que ocorrem na matéria-prima até a obtenção do produto acabado (TEIXEIRA, 2016). A cerveja é normalmente produzida usando quatro ingredientes principais, sendo uma fonte de amido (geralmente cevada maltada), fermento, lúpulo e água (KUNZE, 1999).

A água é indiscutivelmente o ingrediente mais importante no processo de fabricação da cerveja, pois compõe cerca de 90 a 95% do volume de uma cerveja. Muitos fatores são considerados para garantir a sua qualidade sensorial, como o pH, alcalinidade, conteúdo iônico e microbiano, além da potencial presença de subprodutos de desinfecção (SPDs). Além de constituir a maior parte do produto final, a água também está presente em todos os processos de elaboração da cerveja, como na produção do mosto, lavagem do bagaço, resfriamento de mosto e transferências, nas etapas de fermentação e de maturação para transferências entre os tanques, na filtração para a formação de pré-camada de terra e diluições, no envase para desaeração das linhas e enchedoras e para lavar as garrafas ou enxaguar embalagens, nas etapas de higienização e esterilizações dos equipamentos envolvidos em todo o processo, e em forma de utilidades como geração de vapor e sistemas de refrigeração (KUNZE, 1999; ESCOLA SUPERIOR DE CERVEJA E MALTE, 2017; ANDERSON ET AL., 2019).

A Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL, 2018) aponta que o setor cervejeiro brasileiro é um dos que mais utilizam água em seus processos.

Com relação às tecnologias para o tratamento de água de abastecimento urbano e também para o tratamento de água industrial na área de alimentos e bebidas, o processo convencional normalmente é o mais aplicado. As estações de tratamento de água (ETAs) convencionais têm como principal objetivo otimizar a remoção de turbidez e cor aparente, realizar a desinfecção e tornar a água potável, ou seja, segura do ponto de vista físico-químico e microbiológico (FERREIRA FILHO; MARCHETTO, 2006). Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as características físicas e organolépticas, como cor aparente, turbidez, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica, são determinantes no momento de escolher a tecnologia a ser utilizada em uma estação de tratamento de água. As principais etapas necessárias em um tratamento convencional são coagulação, floculação, decantação, filtração e remoção de odores e sabores por meio de oxidantes, que agem também como desinfetantes para eliminar e proteger a água de contaminantes microbiológicos (BURTTSCHELL ET AL., 1959).

A coagulação é um processo de tratamento que consiste em um conjunto de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante e as impurezas presentes na água. Esse processo de coagulação apresenta-se em três fases, sendo a formação das espécies hidrolisadas do coagulante quando disperso na água, a desestabilização das partículas coloidais e suspensas presentes na água, e a aglomeração dessas partículas para formação de flocos maiores (SANTOS ET AL., 2007). De acordo com Richter (2009), o processo de coagulação envolve a adição de produtos químicos, definidos por coagulantes, para a precipitação de compostos presentes em solução, os quais não seriam removidos com a decantação ou com uma simples filtração.

Di Bernardo e Dantas (2005), citam que a coagulação pode ser resultado individual ou combinado de quatro diferentes mecanismos, sendo eles: a compressão de dupla camada elétrica, onde é adicionado ao meio coloidal, um eletrólito indiferente (que não possui característica de hidrólise ou de adsorção) que causará aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuirá a “esfera” da influência de partículas, ocorrendo a coagulação por compressão da camada difusa; a adsorção-neutralização, onde a desestabilização das partículas coloidais ocorre através das interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente e ao se

dissolver o coagulante, os cátions neutralizam as cargas negativas dos colóides, que ocorre antes da formação visível do floco; a varredura, onde dependendo da dosagem de coagulante, do pH e da concentração de alguns íons na água, pode ocorrer a formação de precipitados, e os flocos formados são maiores e sedimentam com maior facilidade em relação a coagulação que ocorre através da adsorção e neutralização de cargas; e a adsorção e formação de pontes, que ocorre envolvendo o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, servindo de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas. Para indicar a estabilidade do sistema coloidal nas ETAs, é frequentemente medido o potencial zeta, onde o ponto que ele apresenta valor igual a zero é conhecido como ponto isoelétrico (PIZ). Quando o PIZ é alcançado através do ajuste de pH e dosagem ótima do coagulante na água, ocorre a desestabilização das cargas superficiais dos coloides presentes, sendo então possível a aderência e a adsorção das partículas (JULIO ET AL., 2015).

O principal objetivo da etapa de coagulação é remover as impurezas coloidais presentes no meio incluindo, incluindo a turbidez, e é uma operação que tem sido praticada desde os tempos mais remotos. O coagulante é adicionado na água afim de retirar as forças que estabiliza as partículas coloidais em suspensão na água, fazendo com que estas se agreguem, formando flocos que aumentam de tamanho para que possam posteriormente sedimentar, separando-se da água clarificada (SARAVANAN ET AL., 2017).

Como coagulantes, as ETAs geralmente utilizam compostos inorgânicos como sais de ferro e alumínio (DI BERNARDO; DANTAS, 2005), porém, alguns critérios devem ser considerados para a escolha do tipo de coagulante, entre eles a qualidade da água bruta, a tecnologia de tratamento empregada, o custo do coagulante e dos produtos químicos que podem estar associados, e o custo de manutenção em geral da estrutura utilizada (SANTOS ET AL., 2007; RICHTER, 2009). Entre os sais inorgânicos, o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) tem grande destaque e é comumente utilizado como coagulante nas ETAs para abastecimento público e industrial devido se tratar de um excelente formador de floco, além de sua relativa economia, facilidade de transporte e manuseio e produção em várias regiões brasileiras (RICHTER, 2009). Apesar de ser comumente utilizado na maioria das indústrias, quando é utilizado como coagulante no tratamento de água, pode trazer vários riscos de saúde ao ser humano (SARAVANAN ET AL., 2017). Além disso, outro aspecto vem sendo considerado para definir o coagulante a ser utilizado, e refere-se

às características do lodo gerado no tratamento, que objetivando a disposição final adequada, leva-se em conta fatores econômicos e de sustentabilidade (SANTOS ET AL., 2007). Neste contexto, Porto (2008), afirma que o sulfato de alumínio, é uma das substâncias presentes no lodo proveniente dos decantadores e nas águas de lavagens dos filtros, que pode causar danos ambientais, se não tratado e disposto adequadamente. Alternativamente, Arantes et al. (2014), Di Bernardo e Dantas (2005) e Özacar e Şengil (2003), consideram que o uso de coagulantes naturais não tóxicos, apresenta vantagem em relação a biodegradabilidade, quando comparado ao uso de coagulantes químicos, pois contribuem para melhorar as condições de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs. Dessa forma, a implementação de coagulantes naturais para tratamento de água vem ganhando espaço (SARAVANAN ET AL., 2017).

Com o objetivo de reduzir os impactos causado pela destinação inadequada de lodo no meio ambiente, Araújo et al. (2015), estudaram, através da caracterização física do resíduo gerado em uma ETA que utiliza sais inorgânicos como coagulantes, alternativas sustentáveis de reincorporação do lodo na cadeia produtiva de materiais de construção, e os resultados obtidos apresentaram potencialidade de sua aplicação na substituição parcial da matéria-prima como por exemplo da areia, na fabricação de materiais de construção. Da mesma forma, Pinheiro, Estevão e Souza (2014), em seus estudos, avaliaram as características mineralógicas e físico-químicas de um resíduo de lodo de ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, visando aproveitar esse resíduo na indústria de cerâmica vermelha, e os resultados encontrados indicaram que o resíduo de lodo da ETA tem potencial para ser incorporado em massas argilosas para a fabricação de cerâmica vermelha. De forma geral, os autores Meert, Hastenpflug e Andrade (2021), observaram que o lodo da ETA utilizando sulfato de alumínio como coagulante, tem grande potencial para ser aplicado, incorporando-se na matéria prima para construção civil, apresentando um limite de teor de aplicação de 10% como agregado miúdo, sem gerar prejuízos significativos às propriedades físicas e mecânicas.

Em seus estudos Dela Justina (2017), observou que o lodo produzido a partir do tratamento de efluente de laticínio com a utilização de tanino modificado como coagulante apresentou características de não perigoso e não inerte. Além disso, não identificou a presença de metais pesados e poluentes orgânicos na sua composição e, junto com os resultados obtidos na sua caracterização agrônômica, indicam que o lodo proveniente do tanino pode ser uma boa opção para o uso na agricultura, porém

deve ser cuidadosamente conduzido devido ao seu potencial para causar riscos à saúde e ao meio ambiente.

Entre os coagulantes vegetais naturais que vem sendo utilizados na ETAs, destacam-se os coagulantes a base de tanino modificado, que são compostos fenólicos hidrossolúveis e ocorrem principalmente em plantas lenhosas como em angiospermas e gimnospermas (MONTEIRO ET AL., 2005), sendo extraídos de espécies vegetais, como *Schinopsis balansae* (Quebracho), *Castanea sativa* (Castanheiro) e *Acacia mearnsii* (Acacia negra) (ARANTES ET AL., 2014). Os compostos fenólicos, em sua grande maioria, além de solúveis em água, também são solúveis em solventes orgânicos, e não são encontrados na natureza no estado livre, e sim sob a forma de ésteres ou de heterosídeos. Os taninos são classificados de acordo com sua estrutura química em hidrolisáveis, que consistem em ésteres de ácidos gálicos e ácidos elágicos glicosilados, formados a partir do chiquimato; e em condensados que consistem em polímeros de flavan-3-ol e flavan-3,4-diol, formados a partir do metabolismo do fenilpropanol (MONTEIRO ET AL., 2005).

Segundo Oladoja (2016), os taninos são compostos polifenólicos, que se ligam a proteínas e outros compostos orgânicos. Naturalmente os taninos não são coagulantes, então são submetidos à reação de cationização (reação de Mannich) para que possam ser aplicados a este fim (MANGRICH ET AL., 2014). Como agentes coagulantes, os taninos modificados exercem seu papel na coagulação, atuando nos meios com partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (GRAHAM ET AL., 2008). Com a aplicação de coagulantes a base de taninos modificados, a desestabilização das partículas coloidais e a subsequente floculação provocam a remoção de uma ampla variedade de substâncias aniônicas, como corantes, surfactantes ou matéria orgânica e ainda, apresenta potencial para remoção de turbidez e metais pesados (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Os coagulantes naturais à base de tanino modificado, além de serem biodegradáveis, ainda produzem lodo em menor quantidade em termos de massa e volume, e com menores teores de metais (KAWAMURA, 1991). Sendo assim, a aplicação de coagulantes naturais derivados de fontes vegetais se apresenta como uma excelente tecnologia alternativa para o desenvolvimento sustentável (YIN, 2010).

Ainda se tratando de uso de insumos nas ETAs, vários agentes podem ser utilizados para eliminar contaminações microbiológicas e tornar a água própria para o

consumo humano. Dentre esses agentes podemos citar os desinfetantes a base de cloro, que devido à facilidade de aplicação, ao baixo custo e a alta eficiência, possuem grande aplicabilidade, chegando a ser usado em 90% das ETAs (SILVA; MELO, 2015). O hipoclorito de sódio é um dos principais desinfetantes a base de cloro pois inativa os microrganismos causadores de doenças, e pode ser usado à temperatura ambiente e seu tempo de contato necessário é relativamente curto. Além disso, sua aplicação é simples, exige equipamentos de baixo custo, a determinação de sua concentração na água é fácil, e fornece um residual que protege a água de posteriores contaminações (TOMINAGA; MIDIO, 1999). Segundo o Art. 32 da Portaria GM/MS Nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou de dióxido de cloro na água tratada, e o seu limite máximo é de 5 mg/L.

Apesar da etapa de desinfecção ser necessária para garantir a segurança microbiológica, o tratamento da água contempla a utilização de alguns desinfetantes que podem afetar a saúde daqueles que a utilizam. Além de que níveis acima do limite estabelecido pela legislação também pode trazer riscos à saúde humana, os maiores riscos relacionados ao processo de cloração da água estão associados muito mais aos seus subprodutos do que com os agentes utilizados (TOMINAGA; MIDIO, 1999). Sendo assim, a operação dos processos unitários de uma estação de tratamento convencional de águas de abastecimento passou a precisar contemplar, não apenas a produção e fornecimento de água com padrões estéticos adequados e isenta de microrganismos patogênicos, como também tendo que minimizar a formação de compostos provenientes da desinfecção (FERREIRA FILHO; ALVES, 2006).

Dessa forma, apesar do uso comum pelo custo baixo e aplicação simples, a utilização do cloro livre, no tratamento de águas com presença de precursores, tais como ácidos fúlvicos e húmicos, provoca a formação de compostos trihalometanos (THMs). Segundo WHO (2005), quanto maior a dosagem de cloro livre aplicada no tratamento de água, maior é a concentração de THM formada, porém, a formação de THM não é diretamente proporcional à dosagem de cloro aplicada, devido à concentração de precursores ser limitante para que a reação continue com a mesma intensidade. Entre os compostos de THM, o mais comum é o clorofórmio, que possui níveis mais altos nas águas cloradas de origem de mananciais superficiais, onde a concentração de matéria orgânica é maior do que em mananciais subterrâneos (WHO, 2005).

Alvarado, Garcia e Solano (2007), apontam que a desinfecção da água com cloro gera subprodutos como THM, e nos últimos anos vários dados mostram que a exposição aos THMs está associada ao risco de câncer e efeitos adversos sobre o sistema reprodutivo. Segundo Cogollo e Negrete (2016), a presença de compostos halogenados como clorofórmio e outros THMs na água potável pública desperta um interesse crescente em relação a perspectiva da saúde pública. Sabe-se que dentre os THMs, o clorofórmio (triclorometano) é o que se forma em maior proporção na água para consumo (ARJONA-RODRÍGUEZ ET AL., 2012; VALLEJO, 2015; SILVA; MELO, 2015). Além disso, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer classificou o clorofórmio e o bromodiclorometano como potenciais cancerígenos, considerando as informações sobre bromofórmio e dibromoclorometano insuficientes para avaliar sua carcinogenicidade (CALDERÓN ET AL., 2002; FERREIRA FILHO; MARCHETTO, 2006; MEYER, 1994; KHORDAGUI; MANCY, 1983). A Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) estabelece o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco a saúde, e o limite máximo permitido para a concentração de THM na água de abastecimento é 100 µg/L (ppb).

Com o objetivo de reduzir a formação de THM em águas de abastecimento, podem ser identificadas três linhas de atuação: a remoção dos compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção em águas de abastecimento, a alteração do ponto de aplicação do agente desinfetante, mudança do agente desinfetante ou uma combinação de ambos, e a própria remoção dos compostos THMs totais, uma vez formados durante o processo de desinfecção (SINGER, 1994). Assim, processos alternativos de desinfecção da água, que evitam a formação dos THM, são levantados e destacam-se aqueles que não utilizam cloro livre, como por exemplo o dióxido de cloro. Entretanto, estes podem levar a formação de outros subprodutos, conforme o teor de matéria orgânica presente na água, sendo que seus efeitos sobre a saúde humana ainda não foram completamente avaliados (TOMINAGA; MIDIO, 1999). Segundo Alvarenga (2010), o dióxido de cloro é um desinfetante eficiente e um oxidante efetivo para o controle de sabor e odor, porém, seu custo é mais elevado quando comparado ao hipoclorito de sódio. Estudos apontam que como o dióxido de cloro não é um agente de cloração, ou seja, não introduz átomos de cloro nas substâncias com as quais reage, e ele oxida a matéria orgânica dissolvida, formam-se quantidades muito menores de subprodutos orgânicos tóxicos, quando é comparado ao uso de cloro livre. No entanto, entre os subprodutos que ainda assim

pode formar, destacam-se o clorito e clorato, pois cerca de 50 a 70% do dióxido de cloro consumido é reduzido a clorito (SINGER, 1994).

Como na produção de cerveja, o maior insumo em volume utilizado é a água, e tendo em vista o exposto acima, um controle maior na qualidade dessa é necessário, não somente pelos riscos de saúde associados, mas também pelos impactos negativos que pode trazer para a qualidade sensorial da cerveja. Dessa forma, é comum o uso de análise sensorial das matérias-primas envolvidas e dos produtos em cada etapa de elaboração para avaliação da qualidade sensorial dos mesmos, iniciando pela análise sensorial da água cervejeira – água utilizada para o processo de elaboração da cerveja.

Os componentes presentes na matéria-prima ou originados durante o processo de fabricação de cerveja podem afetar negativamente o sabor, aroma e aparência da bebida. Desta forma, se não forem controlados com cuidado, os mesmos podem causar características indesejadas no produto acabado, conhecidas como *off flavors*.

Segundo Batista et al. (2015), a crescente exigência do consumidor, que busca cada vez mais alimentos que o satisfaçam sensorialmente, incentivam a pesquisa e a inovação de produtos no mercado. Deliza, Rosenthal e Silva (2003), consideram que mesmo que um alimento satisfaça as necessidades nutricionais, provavelmente não terá aceitação no mercado se o mesmo não possuir atributos sensoriais considerados agradáveis pelo consumidor. A qualidade sensorial da cerveja depende da qualidade de todas as matérias-primas utilizadas e do controle de processo dos parâmetros de produção.

Dentre as matérias-primas, alguns dos desvios sensoriais encontrados na cerveja são causados devido à qualidade da água utilizada para sua elaboração. Algumas causas para os desvios sensoriais encontrados na água envolvem as suas próprias características naturais (matéria excretada por algas e substâncias dissolvidas), ou também podem estar relacionadas com as tecnologias de tratamento utilizadas, como por exemplo o uso de agentes nas etapas de oxidação, coagulação e desinfecção (subprodutos de desinfecção), e também decorrentes das atividades antrópicas (CARVALHO ET AL., 2004). Um exemplo, onde essa situação é evidenciada é em uma ETA convencional, onde é utilizado produtos à base de cloro livre para tratar uma água bruta com presença de precursores, formando conseqüentemente compostos organoclorados. Algumas alternativas são usadas

para a remoção de compostos que causam odor e sabor na água, entre elas destacam-se a aplicação de agentes oxidantes e uso de carvão ativado para a adsorção destes compostos (DI BERNARDO, DANTAS, 2005).

Dentre os SPDs formados em uma ETA, destacam-se os compostos de trihalometanos (THMs), que em concentrações elevadas, além de trazer riscos à saúde (acima de 100 µg/L), também prejudicam a qualidade sensorial da água cervejeira e conseqüentemente a qualidade sensorial da cerveja como produto acabado (ANDERSON ET AL., 2019).

Para a cervejaria em estudo, que leva em consideração os impactos sensoriais causados pelos THMs, o limite máximo da concentração de THM na água cervejeira é de 10 µg/L. Essa especificação é baseada em estudos sensoriais que definem as concentrações mínimas destes compostos em que os degustadores são capazes de sentir na água e na cerveja. Esses desvios sensoriais estão relacionados com odor e sabor desagradáveis que remetem ao cloro, e utilizam termos técnicos sensoriais como “cloro”, “plástico”, “remédio” e “medicinal” (ROSA; AFONSO, 2015). Na indústria cervejeira, a detecção de odor e sabor na água, é realizada através de análises sensoriais em amostras na saída do tratamento e nos pontos de consumo de água (ZANATTA, 2010). Para realizar as análises sensoriais, a indústria cervejeira utiliza um painel de degustadores, que avaliam a água e demais matérias-primas, cerveja em elaboração e em produto acabado (ARAÚJO; SILVA; MINIM, 2003).

Ferreira Filho e Alves (2006) avaliaram, em seus trabalhos a confiabilidade de um painel sensorial na identificação de sabor e odor em águas de abastecimento, a partir da comparação dos resultados da percepção do painel sensorial e dos consumidores em geral, concluindo que o painel sensorial apresentou extrema confiabilidade para a identificação da presença de compostos indesejáveis na água tratada. A partir dos estudos realizados, a implementação de painéis sensoriais em ETAs que apresentem desvios, é recomendada pelos autores.

A análise sensorial é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1998) como a disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição. Para que um produto alimentar seja comercialmente bem-sucedido, os desejos dos consumidores devem ser levantados e atendidos, respeitando as propriedades sensoriais demandadas (NARDELI, 2017). Segundo a ABNT (1998), a análise sensorial pode ser usada para

diferentes fins, como o estabelecimento de critérios de qualidade, controle de qualidade na produção industrial e no desenvolvimento de novos produtos.

Para a água potável, a Portaria GN/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), estabelece o padrão de qualidade organoléptico, como sendo um conjunto de valores permitidos para os parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação dos consumidores.

Um recurso importante para auxiliar na avaliação sensorial de bebidas como café, vinhos, cervejas, e inclusive água, é a “Roda do Sabor e Odor”. Essa ferramenta descreve, para a água potável, oito categorias principais de odor, quatro categorias principais para sabor e uma categoria para sensação na boca. As categorias são o círculo interno, que é circundado por um segundo círculo contendo dezoito descritores respectivos às categorias pertencentes. O terceiro círculo externo associa um ou mais produtos químicos específicos relacionados a um descritor. Assim, qualquer desvio sensorial específico possui descritores associados padronizados nesta ferramenta. Mundialmente, a Roda do Sabor e Odor é reconhecida e fornece informações relevantes e padronizadas sobre o aspecto sensorial da água, devido à sua ampla disponibilidade como Método Padrão 2170 (APHA, 2012). A Figura 1 representa um exemplo desta ferramenta, de forma simplificada.

Figura 1 - Roda de sabor e odor simplificada para água



Fonte: MAUTONE E KAZUKO (2004).

A composição e a qualidade da água a ser utilizada para produção de cerveja são fatores determinantes para se ter uma boa qualidade sensorial da cerveja, portanto, o tratamento de água utilizado na indústria cervejeira tem grande contribuição para este processo, uma vez que nem sempre a água bruta está disponível em quantidade e qualidade ideais no local de instalação e operação da cervejaria (EUWA, 2021).

Em resumo, por ser o principal ingrediente da cerveja, a água deve possuir controle de qualidade rigoroso, respeitando características sensoriais e de potabilidade, para que seja possível alcançar, no final, o sabor desejado (TEIXEIRA, 2016) e para isso deve-se buscar alternativas técnicas e científicas aplicáveis nas estações de tratamento de água para remover ou evitar a formação de compostos indesejáveis, como os trihalometanos, que trazem impactos negativos para a qualidade sensorial da cerveja e aceitação do consumidor. Existem diversos estudos que comprovam a redução na formação de THM através do uso de dióxido de cloro

como desinfetante no tratamento de água, porém ainda há poucos estudos que avaliam a redução na formação de THM através da otimização da remoção de matéria orgânica presente na água, buscando coagulantes alternativos e, ainda menos estudos, que correlacionam o impacto da concentração de THM com a qualidade sensorial da água na indústria de bebidas.

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de redução da formação de THM na água cervejeira através da substituição do coagulante e do agente de desinfecção atualmente utilizados no tratamento de água da cervejaria em estudo, quantificando a concentração de THM obtida através dos diferentes agentes. O trabalho envolveu não somente a avaliação do controle da cor aparente, turbidez e matéria orgânica da água na formação de THM, mas também a qualidade sensorial da água cervejeira.

2 METODOLOGIA

2.1 Local de estudo e caracterização da água bruta

O estudo foi realizado a partir de amostras de água bruta coletadas no ponto de captação de água para tratamento convencional e abastecimento de uma cervejaria, localizado no Rio Caveiras, no município de Lages – SC (27°50'0"S; 50°16'5"W), conforme representado na Figura 2. O Rio Caveiras é fonte de abastecimento público na cidade de Lages/SC, através de tratamento convencional, sendo enquadrado como Classe II.

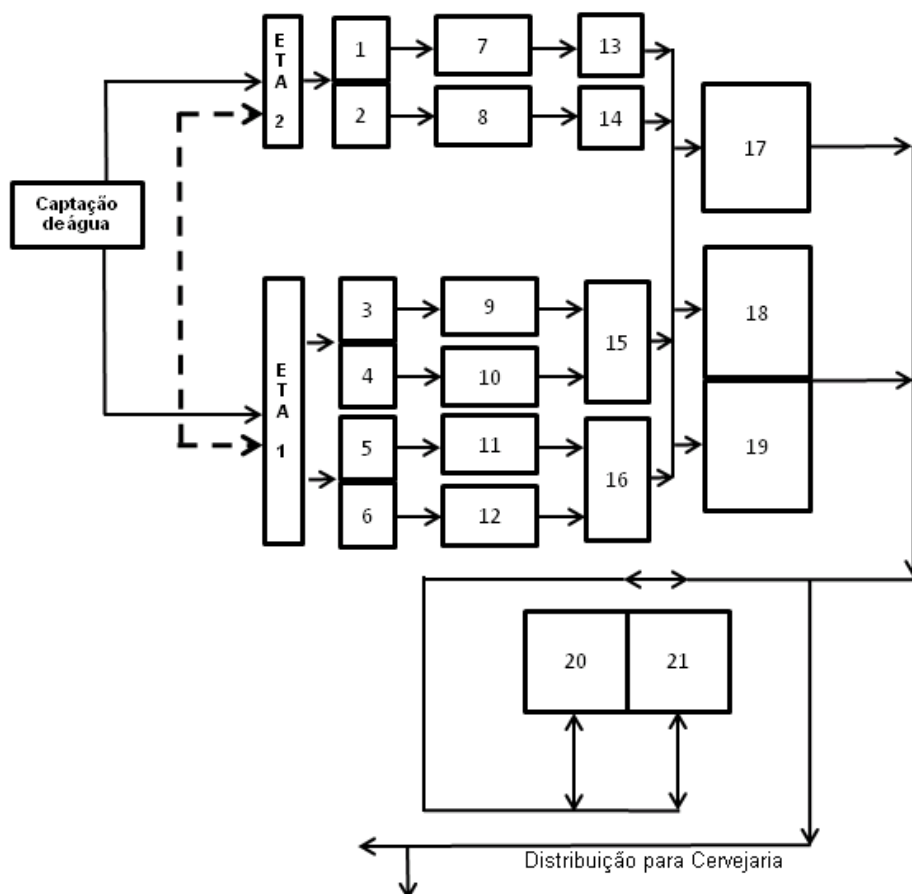
Figura 2 - Mapa da localização do ponto de captação de água da cervejaria em estudo



Fonte: do autor (2021).

A tecnologia utilizada na cervejaria em estudo é o tratamento de água convencional, contemplando as etapas de coagulação, floculação, decantação, desinfecção e filtração. Após o processo de tratamento, a água é armazenada em reservatórios para o abastecimento da cervejaria. A cervejaria é abastecida por meio de duas estações de tratamento: ETA 1 com vazão nominal de 360 m³/h e ETA 2 com vazão nominal de 180 m³/h. A Figura 3 representa o layout das ETAs da cervejaria.

Figura 3 - Representação da ETA da Cervejaria em estudo. Legenda: 1 a 6 – flocladores, 7 a 12 decantadores, 13 a 16 filtros de areia, 17 a 21 - reservatórios



Fonte: do autor (2021).

O tratamento de água na ETA é realizado a partir da coagulação com o uso de sulfato de alumínio para posterior floculação. Após a formação dos flocos, a água então floculada segue para os decantadores, onde os flocos sedimentam em decantadores lamelares, e a água clarificada segue para os filtros de areia de filtração descendente e rápida. Na entrada dos filtros, é dosado hipoclorito de sódio para a desinfecção da água clarificada. Após ser filtrada, a água é direcionada para os tanques reservatórios, onde fica armazenada para abastecimento da cervejaria.

Para a caracterização da água bruta, realizou-se as análises seguindo as metodologias propostas pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2012): cor aparente (método 2120 C), turbidez (método 2130 B), alcalinidade (método 2320 B) e pH (método 4500-H⁺ B) da água bruta numa

frequência semanal, durante o período de um ano. Para análise de matéria orgânica utilizou-se a metodologia baseada na reação de oxidação de permanganato de potássio em meio ácido, com o objetivo de oxidar quantitativamente as substâncias oxidáveis que representam a matéria orgânica (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2008). Também se avaliou a formação de THM (método 6200 C) na água tratada, durante esse mesmo período, utilizando o processo de tratamento atual na ETA, ou seja, uso de coagulante sulfato de alumínio e uso de desinfetante hipoclorito de sódio.

Para a medição de turbidez da água bruta, foi utilizado o equipamento turbidímetro, marca HACH, modelo 2100AN TURBIDIMETER, onde 50 mL de amostra de água foi colocada em uma cubeta de vidro própria deste equipamento, e na sequência, esta foi inserida no compartimento de análise, fechado a tampa e realizado a leitura da turbidez. Para essa análise, o resultado de turbidez foi expresso em NTU.

Para a medição de cor aparente, foi utilizado o equipamento espectrofotômetro, marca HACH, modelo DR 6000, onde utilizou-se uma cubeta com água destilada para o branco, e na sequência a cubeta foi cheia com amostra da água bruta para realizar a leitura, no comprimento de onda de 430 nm. Para a análise de cor aparente, o resultado é expresso em mg/L Pt-Co, com números inteiros.

Análise de matéria orgânica natural (MON) foi dividida em duas etapas: a primeira consistiu em oxidar a amostra com permanganato de potássio em meio ácido (H_2SO_4 25% v/v) a quente, e a segunda etapa consistiu na titulação a quente com solução de KMnO_4 , até o aparecimento persistente da cor rosa. O teor de matéria orgânica é obtido através da quantidade de KMnO_4 consumido pela oxidação da amostra e o resultado é expresso em mg L^{-1} .

2.2 Ensaio de tratabilidade

O estudo foi realizado com amostras de água bruta coletadas no ponto de captação da ETA da cervejaria. As amostras foram coletadas utilizando-se bombonas de polietileno, com volume de 20 litros. A frequência média de coletas e ensaios de tratabilidade foi semanal durante 18 meses, com o objetivo de abranger períodos de precipitação e estiagem para contemplar as variações dos parâmetros de qualidade da água bruta, como turbidez, cor aparente e matéria orgânica, avaliando assim a eficiência dos insumos e procedimentos adotados para o estudo e a influência dos mesmos na formação de THM e qualidade sensorial da água cervejeira. Dessa forma,

o tratamento convencional de água foi simulado através dos ensaios de *jar test* a partir das amostras de água bruta e insumos adotados para o estudo.

2.2.1 Ensaio de *jar test*

Para o desenvolvimento deste estudo, foram realizados os ensaios de tratabilidade da água bruta com as amostras coletadas na tubulação de captação de água do Rio Caveiras, e com o uso de um equipamento de *jar test*, marca QUIMIS, modelo Q305M, com 6 jarros. Primeiramente, foram analisados os parâmetros de cor aparente, turbidez, matéria orgânica, alcalinidade e pH da água bruta, para posterior cálculo de eficiência de remoção dos respectivos parâmetros e avaliação do pH e alcalinidade. Para o cálculo da eficiência de remoção de turbidez foi utilizado a equação:

$$\% \text{ remoção} = \frac{(\text{turbidez água bruta} - \text{turbidez da água tratada})}{\text{turbidez água bruta}} \times 100$$

Para o cálculo da eficiência de remoção de cor aparente e MON, utilizou-se a mesma equação, utilizando os dados de cor aparente e MON respectivamente.

Em cada jarro foram adicionados 1000 mL de amostra de água bruta, e a dosagem definida dos dois diferentes coagulantes, o coagulante a base de tanino modificado em solução 2% e o sulfato de alumínio em solução 1%, a fim de comparar a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente e matéria orgânica dos dois coagulantes, onde as concentrações utilizadas foram devido a dissolução dos agentes e para garantir a dispersão dos agentes no meio. As dosagens utilizadas para os coagulantes variaram entre 0,5 a 5 ppm para os testes utilizando coagulante a base de tanino modificado em solução a 2% e entre 1 a 10 ppm para os testes utilizando solução de sulfato de alumínio a 1%. Essa variação ocorreu devido a variação de turbidez da água bruta. Além disso, para os ensaios utilizando sulfato de alumínio, foi necessário a correção de pH, o qual foi corrigido utilizando solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L. Os ensaios ocorreram semanalmente, e as dosagens de aplicação dos coagulantes variaram conforme a necessidade, de acordo com as características apresentadas pela água bruta, buscando a otimização dos parâmetros operacionais como pH de coagulação, velocidade de agitação, e tempo de floculação e

sedimentação. Os parâmetros de *jar test*, definidos através de estudos prévios, utilizados para a realização dos ensaios foram: agitação de 120 rpm durante 1 minuto na etapa de coagulação (mistura rápida), agitação de 60 rpm durante 20 minutos na etapa de floculação (mistura lenta), e repouso de 20 minutos para a sedimentação dos flocos.

A faixa de pH utilizado para o sulfato pode variar de 5,0 a 7,0, pois fora dessa faixa sua coagulação não ocorre de acordo com o esperado (RICHTER, 2009), e o coagulante a base de tanino modificado não consome alcalinidade do meio onde atua, não alterando o pH da água tratada, sendo assim efetivo em larga faixa de pH, de 4,5 a 8,0 (ROLLEMBERG; MAGALHÃES, 2020). Buscou-se trabalhar com o pH mais próximo de 7,0, não ultrapassando os limites de 6,8 e 7,1.

Os ensaios de *jar test* deram origem a duas amostras de água coagulada – uma com dosagem de sulfato de alumínio e a outra com dosagem de coagulante a base de tanino modificado. Após o tempo de sedimentação, realizou-se as análises de cor aparente, turbidez e matéria orgânica das amostras cujos jarros apresentaram melhor performance, entre os respectivos ensaios. Além disso, também foram avaliados o pH e a alcalinidade das amostras.

Após a obtenção dos resultados, os mesmos foram utilizados para a construção de gráficos *boxplot* no programa *excel* para a interpretação do comportamento dos dois coagulantes em estudo.

2.2.2 Desinfecção e análise do residual de cloro livre e dióxido de cloro

Após os ensaios de tratabilidade para remoção de cor aparente, turbidez e matéria orgânica, as amostras foram submetidas à desinfecção, sendo dosado os agentes desinfetantes hipoclorito de sódio e dióxido de cloro alternadamente nas duas amostras de água tratada com sulfato de alumínio e tanino modificado. As dosagens de hipoclorito de sódio e dióxido de cloro foram entre 0,3 a 0,5 mL para cada litro de água em tratamento. Neste momento, as amostras que foram resultantes do tratamento via *jar test* e do tratamento de desinfecção foram definidas como: T1 – teste utilizando sulfato de alumínio e hipoclorito de sódio; T2 – teste utilizando sulfato de alumínio e dióxido de cloro; T3 – teste utilizando tanino modificado e hipoclorito de sódio; e T4 – teste utilizando tanino modificado e dióxido de cloro.

Após a desinfecção das amostras com os agentes escolhidos, foram realizadas as análises de concentração residual de cloro livre e de dióxido de cloro, com o auxílio de kits da MERCK para análise de cloro livre e dióxido de cloro, e do equipamento espectrofotômetro marca HACH e modelo DR 6000, com comprimento de onda de 255 nanômetros.

2.3 Análise de THM

Para identificar e quantificar os SPDs, são utilizadas algumas técnicas analíticas que necessitam apresentar sensibilidade e seletividade para compostos halogenados. Entre elas, destaca-se a cromatografia gasosa (CG), uma técnica muito utilizada para análise desta classe de compostos (CHOWDHURY; CHAMPAGNE; MCLELLAN, 2010).

A identificação e determinação da concentração de trihalometanos na água tratada foi realizada através do método de cromatografia gasosa, utilizando-se um cromatógrafo gasoso, marca AGILENT TECHNOLOGIES, modelo 7697A HEADSPACE SAMPLER. Essa análise identificou os quatro principais compostos de trihalometanos, e a concentração de cada um é expressa em ppb. Para o estudo, utilizou-se a concentração total dos compostos de THM.

Essa análise é baseada na técnica de *headspace*, onde a amostra é aquecida e os compostos são volatilizados dentro de um frasco de *headspace*. Uma porção volatilizada (*headspace*) é injetada automaticamente para uma coluna cromatográfica, onde os compostos trihalometanos são separados de outros compostos e identificados pelo detector de captura de elétrons (DCE). A quantificação de cada composto foi obtida pela medida das áreas dos picos comparada com um padrão de concentração já conhecida.

Alguns ajustes e parâmetros são importantes para esta análise: foi utilizada uma coluna cromatográfica DB-5 com comprimento de 60 m, diâmetro de 0,530 mm, filme de 1,50 µm, e com limites de temperatura de 60°C a 300°C. Foi utilizado nitrogênio como gás de arraste, temperatura do forno de 70°C, temperatura do detector (DCE) de 150°C e a temperatura do injetor universal de 110°C. A vazão do gás de arraste foi ajustada para 15 mL/min e a vazão do make-up para 30 mL/min. Para o amostrador headspace, foi ajustada a temperatura de equilíbrio do banho para 70°C, e o tempo máximo do ciclo foi ajustado de acordo com o tempo de corrida da

amostra no forno, acrescentando os tempos de equilíbrio da amostra (90 minutos), tempo de pressurização (0,5 minutos), tempo do *loop fill* (0,5 minutos), tempo do *loop equilíbrio* (0,05 minutos) e tempo do *inject* (1 minuto).

A partir desta análise, foi possível visualizar os resultados de THM formados pelos quatro testes que originaram as amostras de água tratada, e o comportamento e a influência dos agentes coagulantes e desinfetantes dosados, na formação de THM total das amostras. Com os resultados obtidos, também foram construídos gráficos *boxplot* no programa *Excel*, para a interpretação da formação de THM, a partir dos diferentes insumos utilizados nos ensaios de tratabilidade.

2.4 Análise sensorial

Para o presente estudo, as análises sensoriais da água tratada (visual, odor e sabor) foram realizadas no laboratório de análises sensoriais da cervejaria, através de um painel de degustadores formado por 10 pessoas treinadas para identificar os possíveis desvios na água cervejeira. Os degustadores realizaram a análise visual, de odor e de sabor, das amostras de água tratada, classificando o resultado como OK e NOK, e descrevendo, quando houveram, os possíveis desvios em estudo.

A análise sensorial ocorreu sempre após a realização das análises físico-químicas, garantindo assim que as amostras somente fossem degustadas/ingeridas a partir dos resultados físico-químicos dentro dos limites do padrão de potabilidade, conforme estabelecido na Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

Formou-se um painel com 10 degustadores aptos para realizarem as análises sensoriais de água. Para formar o painel sensorial, foram convidados os funcionários que já desempenham o papel de degustador na cervejaria em estudo, e desta forma os mesmos apresentaram-se voluntariamente para participar deste projeto. Dentre os 17 degustadores que se apresentaram, foram selecionados 10 deles, que possuem melhor performance para identificar desvios sensoriais presentes na água. Essa performance foi observada através do histórico de degustações do laboratório sensorial da cervejaria em estudo. Ao se apresentarem voluntariamente, foi aplicado aos degustadores a assinatura do TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, para formalizar a participação voluntária dos mesmos e esclarecer os procedimentos e objetivos do projeto de pesquisa, conforme estabelece o CEPESH –

Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Udesc. Além disso, durante a pandemia do COVID-19, a cervejaria em estudo adotou medidas preventivas, e as mesmas também foram respeitadas para a aplicação dos testes sensoriais. Desta forma, foi indispensável o uso de máscaras de proteção, sendo permitido apenas retirá-las no momento da degustação, onde também foi respeitada a limitação do espaço protegido por barreiras físicas em acrílico para impedir o contato, na mesa de degustação. Outras orientações de como lavar as mãos, uso de álcool em gel para as mãos, capacidade máxima das salas e o distanciamento seguro foram realizadas com frequência também para evitar qualquer transmissão. O Parecer Consubstanciado e aprovado do CEPESH foi inserido como apêndice deste estudo (APÊNDICE A).

A análise sensorial foi realizada conforme foram sendo concluídos os ensaios de tratabilidade e sempre após as análises físico-químicas. Para cada sessão de análise sensorial, foi necessária a participação de dois dos degustadores que fazem parte do grupo de dez degustadores capacitados e aptos para esta análise. Em cada sessão, os dois degustadores voluntários realizaram análise sensorial de quatro amostras de água referentes aos testes aplicados no ensaio de tratabilidade que foram identificados somente como T1, T2, T3 e T4 para evitar qualquer forma de viés ou conflito de interesses com resultados relacionados aos testes. Cada um dos dois degustadores, receberam quatro copos contendo as amostras T1, T2, T3 e T4 e degustaram de forma individual, anotando no formulário da análise se a amostra estava OK ou NOK e descrevendo se havia algum defeito sensorial identificado, conforme formulário (exemplo) apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Formulário de análise sensorial

Formulário para análise sensorial de amostras de água cervejeira				
Orientações: Classificar os parâmetros visual, odor e sabor como OK e NOK; Se houver desvios em algum desses parâmetros, descrever o desvio identificado.				
Data:	Amostras			
Parâmetros	T1	T2	T3	T4
VISUAL (OK/NOK)	OK	OK	OK	OK
ODOR (OK/NOK)	OK	OK	OK	OK
SABOR (OK/NOK)	OK	NOK	NOK	OK
DESVIOS (descrever)	NA	Cloro	Medicinal	NA

Fonte: do autor (2021).

Os dados obtidos através da análise sensorial, foram consolidados, gerando um % de conformidade considerando o número total de desvios identificados para cada teste T1, T2, T3 e T4.

2.5 Análises microbiológicas

As amostras de água tratada obtidas através dos quatro testes foram inoculadas seguindo as metodologias propostas pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2012), a fim de avaliar a eficiência do tratamento para a potabilidade da água. As amostras tratadas foram coletadas em frascos esterilizados em autoclave e filtradas em membranas filtrantes estéreis de 0,45 µm. Após a filtração em capela microbiológica de fluxo laminar, as mesmas foram incubadas em placas de *Petri* estéreis nos meios m-FC (método 9222 D) e M-EndoLess (método 9222 B) para avaliação da presença e contagem de coliformes termotolerantes e totais, respectivamente. As amostras inoculadas no meio m-FC foram incubadas em estufa a temperatura de 45°C por 24h e as amostras inoculadas no meio M-EndoLess foram incubadas a temperatura de 35°C por 48h. Após o período

de incubação, as placas foram retiradas da estufa para serem avaliadas, realizando-se a leitura das mesmas.

2.6 Análises estatísticas

Para melhor interpretação dos resultados de THM, obtidos através dos quatro testes, os dados foram submetidos ao teste de Tukey com nível de significância de 5%.

2.7 Análise econômica prévia

Através de uma pesquisa de custo com fornecedores, foi realizada uma breve avaliação econômica dos insumos envolvidos no tratamento de água utilizados na ETA da cervejaria e dos insumos propostos neste estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da água bruta

A água bruta em estudo foi caracterizada de acordo com suas características físico-químicas de turbidez, matéria orgânica, cor aparente e pH, como pode ser observado na tabela do Anexo A. Além disso, também é apresentado os dados de precipitação do mesmo período, segundo o site do INMEP – Instituto Nacional de Meteorologia, para a estação de Lages – SC.

A partir dos dados obtidos para caracterização da água bruta, calculou-se a média, pontos mínimo e máximo e desvio padrão de cada parâmetro, conforme está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos para caracterização da água bruta e precipitação da chuva no mesmo período

	Precipitação (mm)	Turbidez (NTU)	Matéria orgânica (mg L ⁻¹)	Cor aparente (mg Pt-Co L ⁻¹)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	pH
Média	5,79	10,35	6,80	22,32	19,17	6,98
Mínimo	0,00	4,56	2,11	5,00	8,10	6,80
Máximo	71,20	49,50	15,70	98,00	29,80	7,13
DP	11,72	7,75	2,41	16,85	5,81	0,06

Fonte: do autor (2021).

Ao avaliar os dados, é possível observar que os parâmetros de turbidez, cor aparente e matéria orgânica possuem influência da precipitação de chuvas ocorrida no período das coletas.

No mesmo período, foram observados os compostos de THM total e como clorofórmio, diclorometano, dibrometano e bromofórmio identificados e quantificados nas amostras de água tratada pelo processo de tratamento utilizado na ETA da cervejaria em estudo, apresentado no Anexo B. A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos para estes dados.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos para THM total e principais compostos de THM presentes na água tratada no mesmo período

	THM total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
Média	52,67	25,28	9,48	8,95	4,05
Mínimo	25,00	12,00	4,50	4,25	1,92
Máximo	129,00	61,92	23,22	21,93	9,91
DP	21,21	10,18	3,82	3,61	1,63

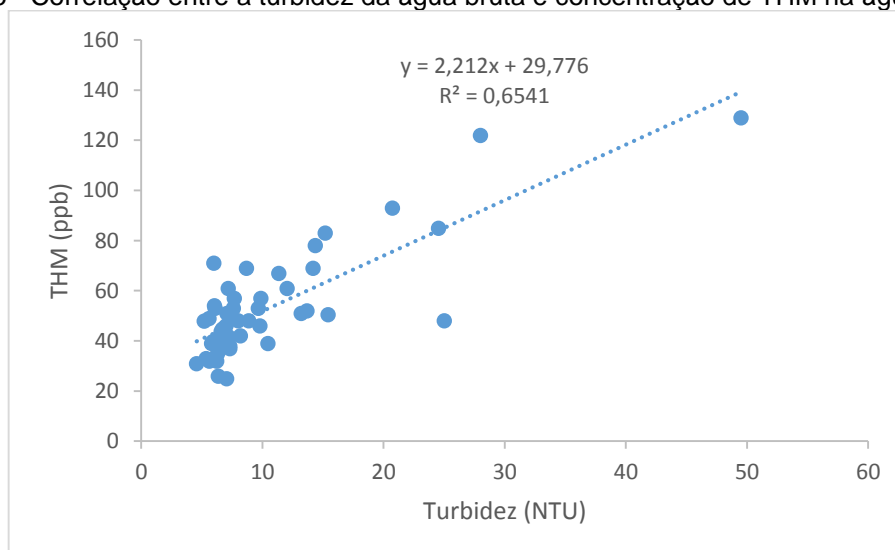
Fonte: do autor (2021).

Ao identificar os compostos de THM presentes nas amostras, destacou-se o clorofórmio como principal composto de THM presente na água tratada pela ETA, utilizando como insumos o coagulante sulfato de alumínio e desinfetante hipoclorito de sódio.

Nesta etapa do trabalho foi estudado as correlações existentes entre a concentração de THM total obtida na água tratada pelo sistema de tratamento atual, e os parâmetros de utilizados para caracterização da água bruta.

A Figura 5 apresenta a correlação observada entre a turbidez da água bruta e a concentração de THM formada na água tratada através do tratamento na ETA, utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o desinfetante hipoclorito de sódio. A correlação obtida foi de 0,65.

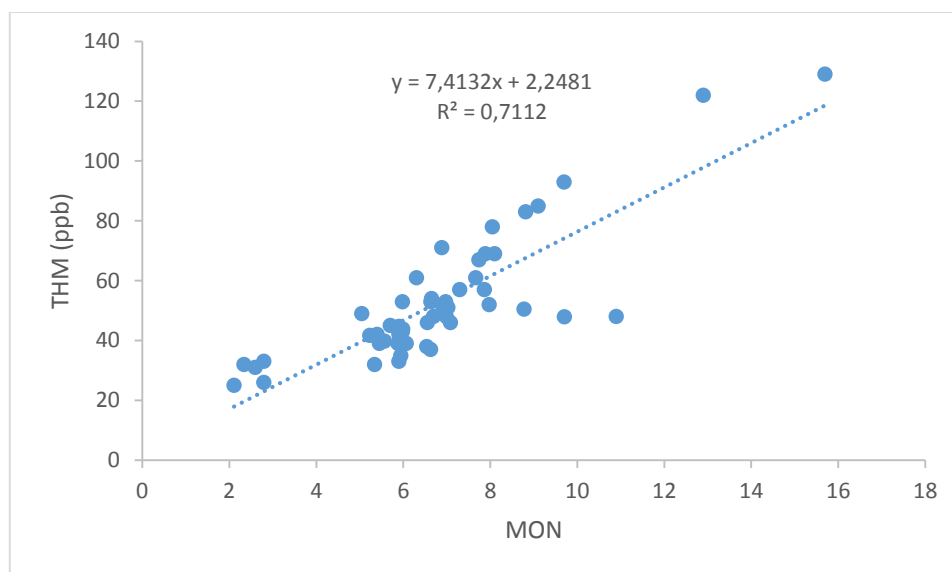
Figura 5 - Correlação entre a turbidez da água bruta e concentração de THM na água tratada



Fonte: do autor (2021).

A Figura 6 apresenta a correlação observada entre a MON da água bruta e a concentração de THM total formada na água tratada através do tratamento na ETA, utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o desinfetante hipoclorito de sódio, onde a correlação obtida foi de 0,71, e foi a maior correlação encontrada entre os demais parâmetros da água bruta.

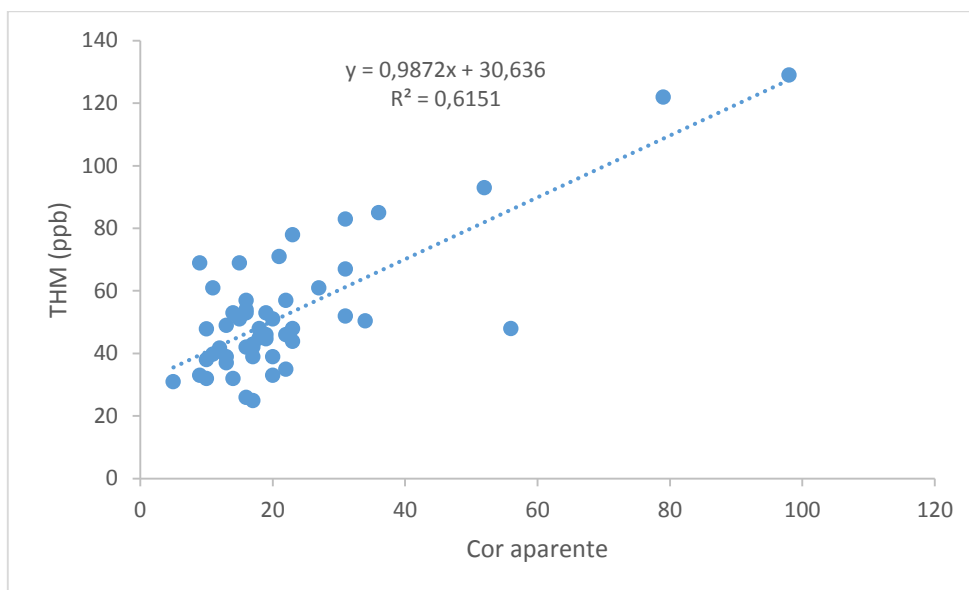
Figura 6 - Correlação entre a concentração de MON presente na água bruta e a concentração de THM encontrada na água tratada



Fonte: do autor (2021).

A Figura 7 apresenta a correlação observada entre a cor aparente da água bruta e a concentração de THM total formada na água tratada através do tratamento na ETA, utilizando o coagulante sulfato de alumínio e o desinfetante hipoclorito de sódio. A correlação obtida foi de 0,62.

Figura 7 - Correlação entre cor aparente da água bruta e a concentração de THM da água tratada



Fonte: do autor (2021).

As correlações encontradas entre a concentração de THM total e os parâmetros de turbidez e cor aparente, foram bem próximas, enquanto que a correlação apresentada entre a concentração total de THM e MON foi superior, nestas condições do tratamento em estudo.

Alguns estudos apontam que a matéria orgânica natural presente na água bruta reage com agentes de desinfecção como cloro e produzem subprodutos de desinfecção (SPDs). Neste contexto os autores Chowdhury, Champagne e McLellan encontraram uma correlação entre SPDs e teor de matéria orgânica natural em águas brutas, onde foi observado que a remoção de matéria orgânica diminui significativamente a concentração de THM (CHOWDHURY; CHAMPAGNE; MCLELLAN, 2010).

Entre as três características da água bruta estudadas, o índice de matéria orgânica apresentou maior correlação com a formação de THM, evidenciando ser um bom indicativo a ser estudado para buscar a redução de THM na água cervejeira.

3.2 Avaliação da remoção de cor aparente, turbidez e matéria orgânica

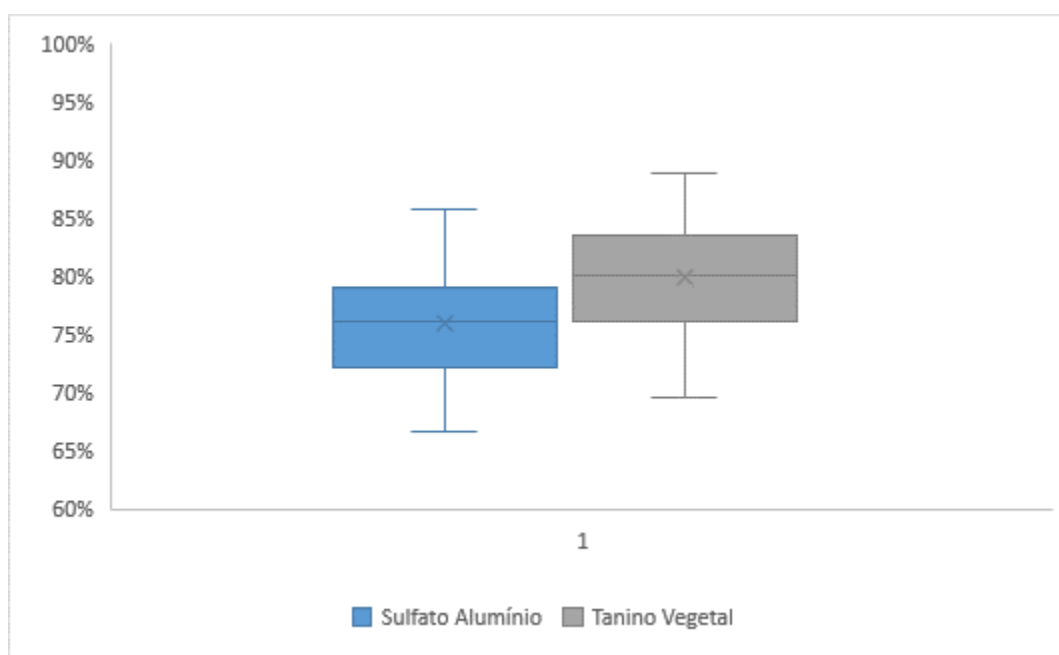
Para avaliação da remoção de cor aparente, o teste utilizando sulfato de alumínio apresentou resultados de remoção entre 67% e 86%, com média em 76%. Por outro lado, o teste utilizando coagulante a base de tanino modificado apresentou

resultados de remoção entre 70% e 89%, com média de 80% de remoção. Para a remoção de turbidez, o coagulante a base de tanino modificado e o sulfato de alumínio permitiram remoção de até 94% e 93%, porém a média de remoção do coagulante a base de tanino modificado superou a média de remoção do sulfato de alumínio, sendo 85% e 80% respectivamente.

Em 2021, os autores Schmitt, Rodrigues e Oliveira, estudaram a eficácia de polímeros à base de taninos naturais modificados, e obtiveram resultados próximos ao presente estudo, com remoção de cor aparente de até 86% e de turbidez de até 90% (SCHMITT; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2021).

Os resultados obtidos através dos ensaios de tratabilidade para avaliar a eficiência de remoção de cor aparente e turbidez são apresentados nas Figuras 8 e 9.

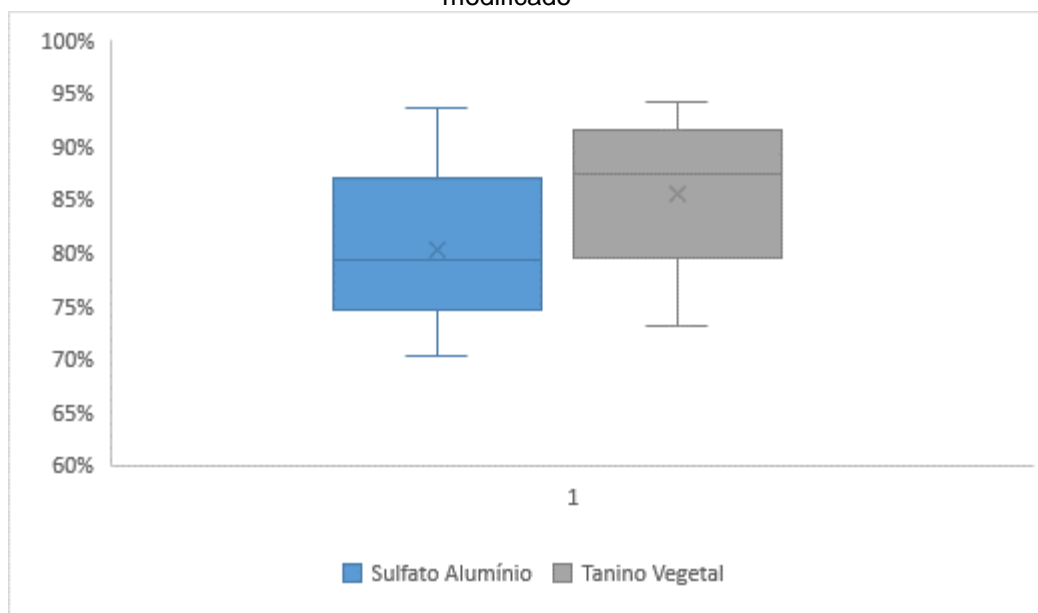
Figura 8 - Remoção de cor aparente com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado



Fonte: do autor (2021).

Nesta avaliação, o coagulante a base de tanino modificado apresentou comportamento de eficiência de remoção levemente superior ao coagulante de sulfato de alumínio, porém não houve diferença estatisticamente significativa.

Figura 9 - Remoção de turbidez com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado

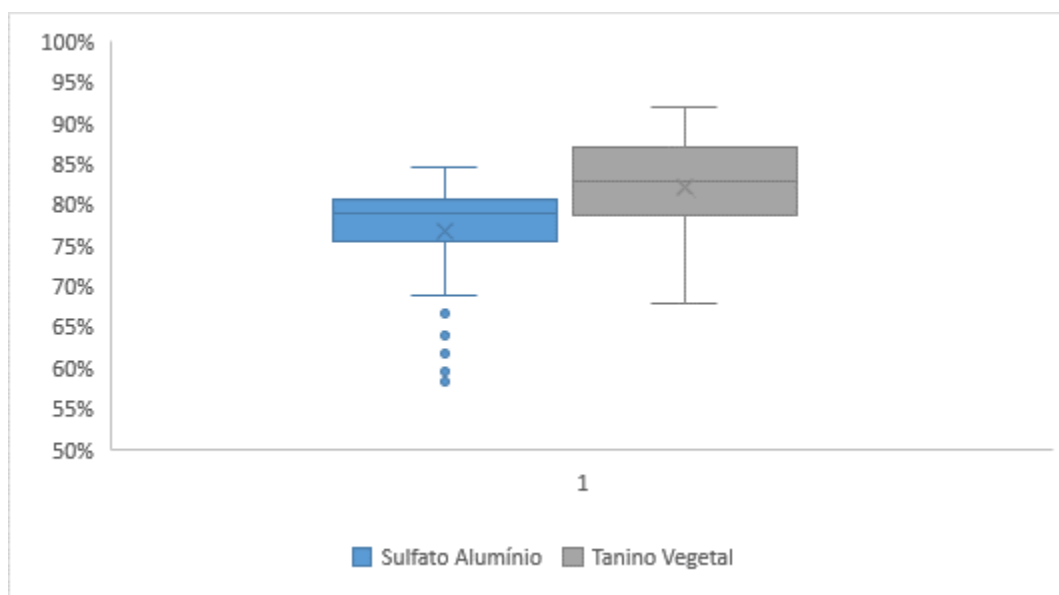


Fonte: do autor (2021).

Neste estudo, o teste aplicando o coagulante a base de tanino apresentou níveis de remoção de matéria orgânica natural (MON) de até 92%, enquanto o sulfato de alumínio, apresentou remoção máxima de 85%.

A eficiência de remoção de MON através da coagulação por sulfato de alumínio e tanino modificado está apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Remoção de matéria orgânica com o uso dos coagulantes sulfato de alumínio e a base de tanino modificado



Fonte: do autor (2021).

Para a remoção de MON, Bongiovani et al. (2016), apontam que os polímeros naturais também apresentaram melhor efeito, quando comparados aos coagulantes sintéticos.

A partir dos resultados obtidos para remoção de MON, através do uso dos dois coagulantes, pode ser observado que o coagulante a base de tanino modificado apresentou melhor comportamento em relação a coagulação, e conseqüentemente maior eficiência de remoção.

3.3 Avaliação do residual de cloro livre e dióxido de cloro na água tratada

Para as amostras em estudo, foram obtidos os resultados residuais de cloro livre para T1 e T3, e residuais de dióxido de cloro para T2 e T4 que estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise dos residuais de cloro livre e dióxido de cloro na água tratada através dos quatro testes

	T1	T2	T3	T4
	Residual cloro livre (ppm)	Residual dióxido cloro (ppm)	Residual cloro livre (ppm)	Residual dióxido cloro (ppm)
MÉDIA	0,37	0,35	0,38	0,36
MÍN	0,29	0,27	0,28	0,26
MÁX	0,45	0,45	0,44	0,52
DP	0,04	0,04	0,05	0,05

Fonte: do autor (2021).

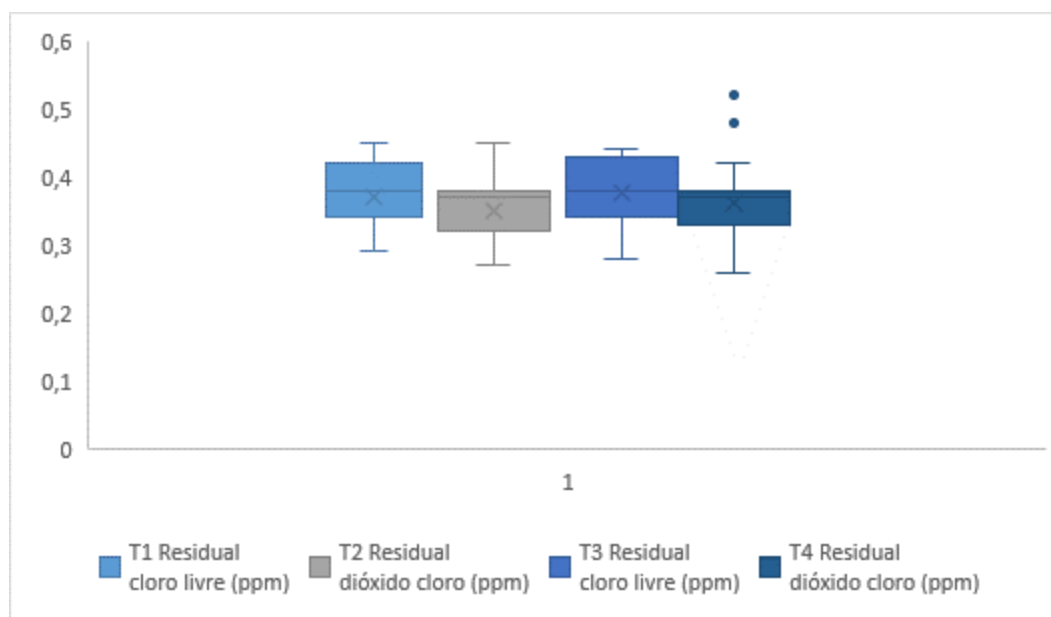
A média dos residuais tanto de cloro livre, quanto de dióxido de cloro, nas amostras de água tratada pelos quatro testes foram próximas, e também com baixo valor de desvio padrão.

Tanto o *Guidelines* da WHO (2017), quanto a Portaria GM/MS Nº 888 de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) estabelece no Artigo 32 a obrigatoriedade de manter, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou de dióxido de cloro na água para consumo humano, e no máximo 5 mg/L. Além disso, também é estabelecido valores máximos permitidos de 0,7 mg/L para cloritos e cloratos, e 0,1 mg/L para THM, porém

neste estudo foi contemplado apenas a análise de THM como SPDs, não sendo avaliado a formação de cloritos e cloratos.

A Figura 11 apresenta os resultados de cloro livre residual e dióxido de cloro, onde não há diferença estatisticamente significativa entre os testes.

Figura 11 - Residual de cloro livre (T1 e T3) e dióxido de cloro (T2 e T4) nas amostras de água tratada



Fonte: do autor (2021).

Em relação aos valores de cloro livre residual e dióxido de cloro, todos os testes realizados atenderam a portaria de potabilidade de água, sendo que para T1, obteve-se média de 0,37, mínimo de 0,29 e máximo de 0,45, com um desvio padrão de 0,045 mg/L de residual de cloro livre na água. Para T2, obteve-se média de 0,35, mínimo de 0,27 e máximo de 0,45, com desvio padrão de 0,042 mg/L de dióxido de cloro. Para T3, os resultados foram de média 0,38, mínimo 0,28 e máximo de 0,44, com desvio padrão de 0,045 mg/L de cloro livre. Por fim, para T4, os resultados obtidos foram média de 0,36, mínimo 0,26, máximo 0,52 e desvio padrão de 0,053 mg/L de dióxido de cloro. O teste T4 foi o que apresentou os menores e maiores resultados de residual de dióxido de cloro, e conseqüentemente o maior desvio padrão entre os testes.

3.4 Avaliação da formação de trihalometanos

Segundo Meyer (1994), algumas variáveis podem influenciar na reação de formação dos THM, como tempo, temperatura, pH, concentração de brometo e iodeto, características e concentração de precursores e concentração de cloro. Em termos de pH e temperatura, a formação de THM aumenta com a elevação desses dois parâmetros. Como a reação de formação de THM não é instantânea, o tempo de contato entre o cloro e os precursores influencia diretamente na sua concentração. Para a reação de formação de THM ocorrer é necessário a presença de precursores e de cloro livre, onde quanto maior a concentração dos dois reagentes, maior é a probabilidade de formação (MONTEIRO ET AL., 2014).

Sanches et al. (2004), após realizarem um estudo da formação de subprodutos clorados na etapa de pré-oxidação com dosagem de 1,0 ppm de dióxido de cloro e tempo de contato de 4 a 96 horas verificaram que não ocorreu à formação de trihalometanos e outros subprodutos clorados, concluindo que o dióxido de cloro se apresentou como uma excelente alternativa para substituir o cloro na etapa de pré-oxidação.

Paschoalato et al. (2013), recomendam o dióxido de cloro para sistemas que utilizam a pré-oxidação nas estações de tratamento de água para abastecimento, após realizarem um estudo cujo objetivo principal foi avaliar o potencial de formação de subprodutos clorados, entre eles THM e AHA, em água preparada com adição de substância húmica extraída de solo turfoso e pré-oxidada com cloro e dióxido de cloro, onde os resultados obtidos mostraram que o dióxido de cloro apresentou potencial de formação significativamente inferior ao cloro.

Com a realização deste estudo foram obtidos, através dos ensaios T1, T2, T3 e T4 e da análise de cromatografia gasosa, os resultados dos quatro principais compostos de THM e THM total, que são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Concentração de THM total e principais compostos de THM identificados a partir dos quatro testes realizados

T1 - Sulfato alumínio + hipoclorito sódio					
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
Média	97,13	47,09	17,66	16,68	15,70
Mínimo	44,55	21,60	8,10	7,65	7,20
Máximo	147,51	71,52	26,82	25,33	23,84
DP	28,47	13,81	5,18	4,89	4,60
T2 - Sulfato alumínio + dióxido cloro					
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
Média	8,00	3,88	1,45	1,37	1,29
Mínimo	1,88	0,91	0,34	0,32	0,30
Máximo	14,55	7,06	2,65	2,50	2,35
DP	3,55	1,72	0,65	0,61	0,57
T3 - Tanino vegetal + hipoclorito sódio					
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
Média	57,53	27,89	10,46	9,88	9,30
Mínimo	34,65	16,80	6,30	5,95	5,60
Máximo	78,21	37,92	14,22	13,43	12,64
DP	12,40	6,01	2,25	2,13	2,00
T4 - Tanino vegetal + dióxido cloro					
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
Média	1,69	0,82	0,31	0,29	0,27
Mínimo	0,20	0,10	0,04	0,03	0,03
Máximo	4,06	1,97	0,74	0,70	0,66
DP	0,90	0,44	0,16	0,15	0,15

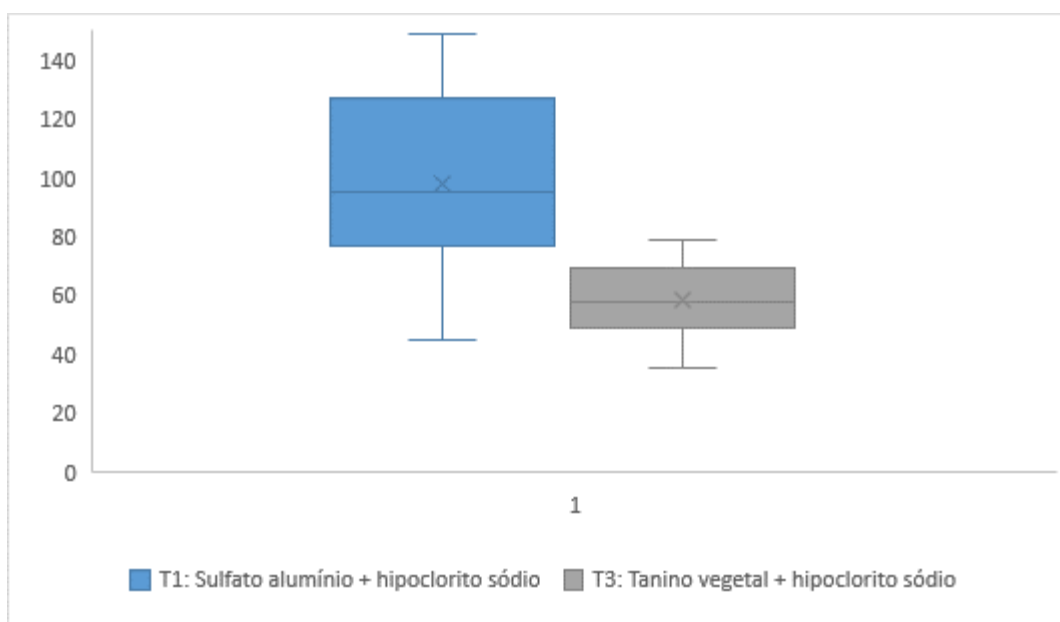
Fonte: do autor (2021).

Novamente, o composto de THM mais frequente observado nas amostras de água tratada, para os quatro testes, foi o clorofórmio, enquanto que para os demais compostos as concentrações foram menores e próximas entre si.

As concentrações de THM total obtidas nos testes T1 e T3 (Figura 12), onde variou-se os coagulantes sulfato de alumínio e tanino modificado, e manteve-se o mesmo desinfetante para os dois ensaios (hipoclorito de sódio), foram entre 45 e 148 ppb, com média de 97 ppb para T1 e entre 35 e 78 ppb, com média de 58 ppb para T3.

García (2005) em seu estudo para redução de THM na água potável, através da remoção de MON, obteve resultados que evidenciaram que a coagulação convencional utilizando sulfato de alumínio, não foi suficiente para reduzir a concentração de MON ao ponto de evitar altos níveis de THM na etapa de desinfecção.

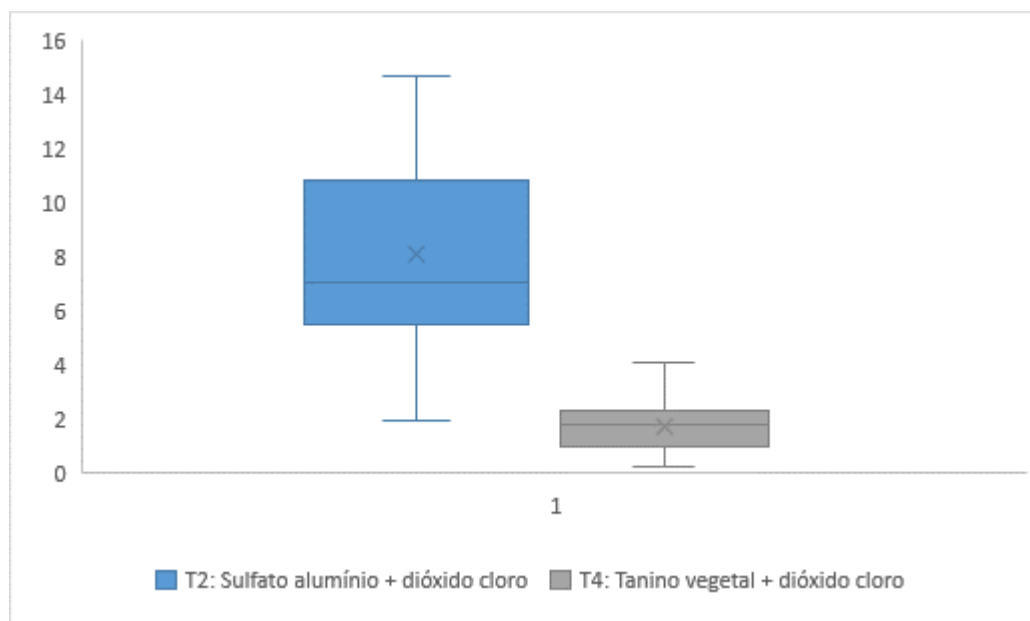
Figura 12 - Concentração de THM obtida através dos testes T1 e T3



Fonte: do autor (2021).

As concentrações de THM total obtidas nos testes T2 e T4 (Figura 13), onde variou-se os coagulantes sulfato de alumínio e tanino modificado, e manteve-se o mesmo desinfetante para os dois ensaios (dióxido de cloro), foram entre 1,9 a 14,6 ppb, com média de 8,0 ppb para T2 e entre 0,2 e 4,1 ppb, com média de 1,7 ppb para T4.

Figura 13 - Concentração de THM obtida através dos testes T2 e T4



Fonte: do autor (2021).

Em seus estudos, Serna e Peñuela (2016), obtiveram 37 ppb de THMs, utilizando a dosagem de 0,3 mg/L de dióxido de cloro, e verificaram que doses mais altas de dióxido de cloro aumentaram a formação de SPDs, ressaltando que dosagens ideais de coagulante e desinfetante devem ser definidas.

Ao aplicar o teste de Tukey, no nível de significância de 5%, observa-se na Tabela 5 que os testes T2 e T4 não apresentam diferença significativa entre as suas médias, enquanto que quando comparados com os testes T1 e T3, os mesmos apresentaram diferença significativa entre as médias.

Tabela 5 - Teste de Tukey

Análise de variância	THM	
GL resíduo	216	
F tratamentos	446,06	**
Média geral	41,50	
Desvio-padrão	15,94	
DMS (5%)	7,88	
CV (%)	38,41	
Teste de Tukey a 5%:		
T1	98,11 ± 29,03	A
T2	8,08 ± 3,62	C
T3	58,11 ± 12,64	B
T4	1,70 ± 0,92	C

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

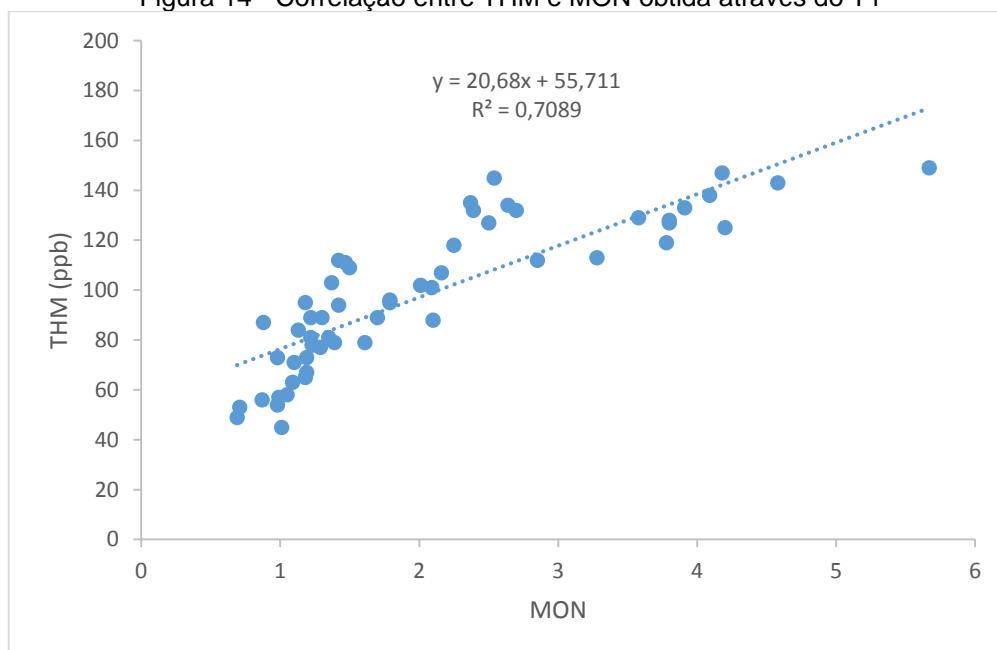
GL: graus de liberdade; DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação.

Fonte: do autor (2021).

A partir dos resultados obtidos, também foi analisado as correlações entre formação de THM e matéria orgânica dos quatro testes.

A Figura 14 apresenta o gráfico de correlação entre a concentração de THM e de MON obtida através do T1, onde a correlação obtida foi de 0,71.

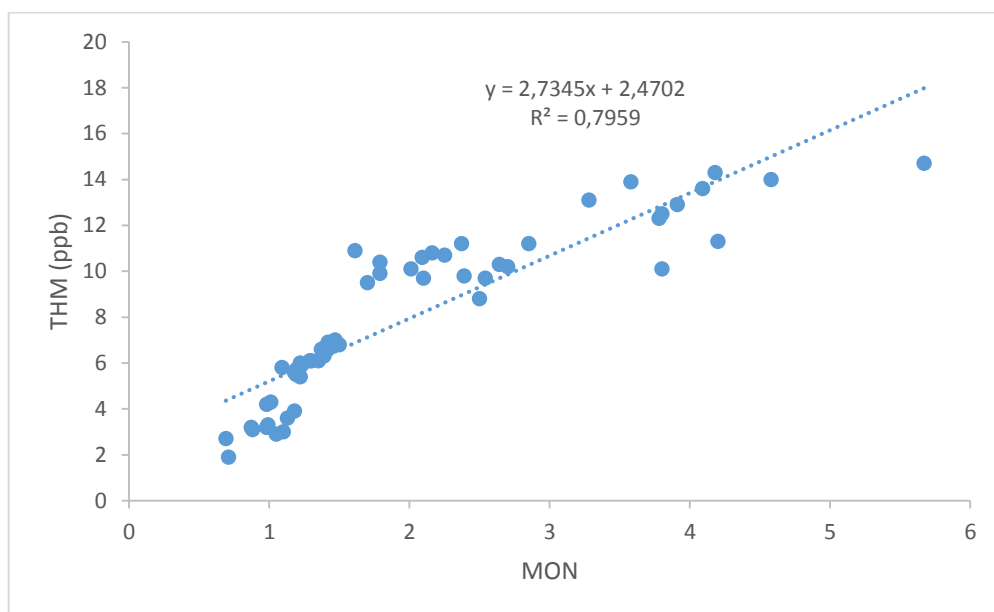
Figura 14 - Correlação entre THM e MON obtida através do T1



Fonte: do autor (2021).

A Figura 15 apresenta o gráfico de correlação entre THM e MON obtida através do teste T2, onde a correlação se aproximou de 0,80.

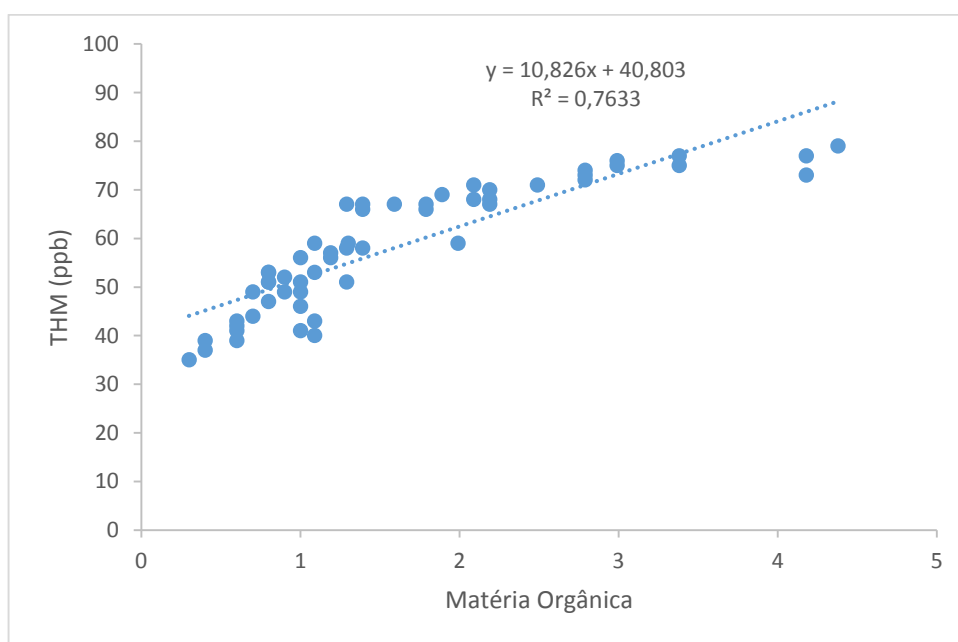
Figura 15 - Correlação entre MO e THM obtida através do T2



Fonte: do autor (2021).

A Figura 16 apresenta o gráfico de correlação entre THM e MON obtida através do teste T3, com correlação de 0,76.

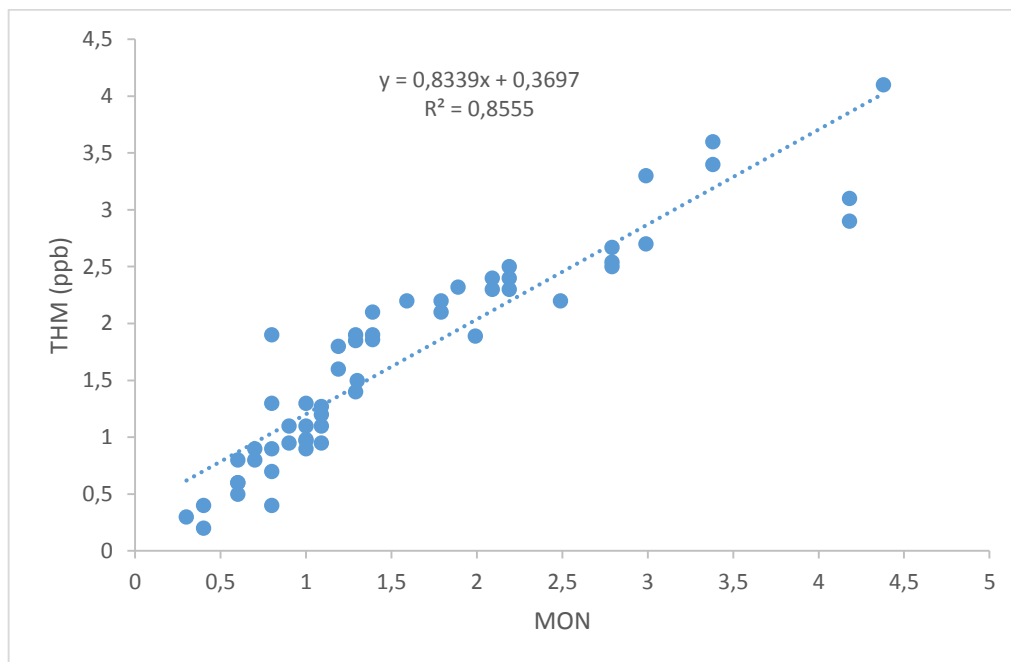
Figura 16 - Correlação entre MO e THM obtida através do T3



Fonte: do autor (2021).

O teste que apresentou maior correlação entre a concentração de MON e THM total foi o teste T 4, com correlação próxima de 0,86 (Figura 17).

Figura 17 - Correlação entre MON e THM obtida através do T4



Fonte: do autor (2021).

Desta forma, através dos resultados obtidos, foi possível observar que a formação dos compostos de THM total tiveram maior correlação com os testes onde foi aplicado dióxido de cloro como desinfetante.

3.5 Avaliação da qualidade sensorial

Água pura significa, sensorialmente, um líquido neutro, sem cor, odor ou sabor. A presença de desvios em qualquer um desses itens serve como um sinal perigoso para os consumidores de água potável, e de bebidas (ORTENBERG; TELSCH, 2003).

Segundo Ferreira Filho e Alves (2006), os desvios sensoriais em águas de abastecimento são de difícil solução tecnológica, e de natureza complexa, podendo causar transtornos consideráveis ao público como consumidor. Como o uso de técnicas analíticas avançadas para a identificação e quantificação dos compostos que causam desvios sensoriais nas águas não é comum, a maioria das empresas de

saneamento, assim como indústrias de alimentos e bebidas, utilizam painéis sensoriais em seus processos para garantir a qualidade sensorial (FERREIRA FILHO; ALVES, 2006).

As análises sensoriais foram realizadas através do painel sensorial formado, com o objetivo de classificar as amostras como OK (amostras que não apresentam defeitos ou desvios sensoriais no visual, odor e sabor) e NOK (amostras que apresentam algum defeito ou desvio sensorial no visual, odor ou sabor), considerando desvios relacionados ao cloro e THM. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Conformidade sensorial

Teste	% Conformidade sensorial
T1 Sulfato alumínio + hipoclorito de sódio	35,45%
T2 Sulfato alumínio + dióxido cloro	80,91%
T3 Tanino modificado + hipoclorito sódio	60,91%
T4 Tanino modificado + dióxido cloro	91,82%

Fonte: do autor (2021).

Os testes que utilizaram cloro livre (T1 e T3) tiveram um percentual de conformidade menor nos resultados sensoriais devido a presença de desvios descritos como cloro, plástico, remédio e medicinal. Os testes que utilizaram dióxido de cloro (T2 e T4) apresentaram maior satisfação entre os degustadores, e entre os mesmos, o que resultou em menor quantidade de desvios foi o T4 que usou dióxido de cloro como desinfetante, e coagulante a base de tanino modificado no tratamento.

3.6 Avaliação da qualidade microbiológica

A Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), estabelece o padrão bacteriológico da água para consumo humano, onde são avaliados dois parâmetros que são classificados como coliformes totais e coliformes termotolerantes (*Escherichia Coli*). Para os dois casos o valor de referência que deve ser cumprido é de ausência em 100 mL da amostra de água tratada, como está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Padrão bacteriológico de potabilidade da água

Formas de abastecimento	Parâmetro	VMP (1)
SAI	<i>Escherichia coli</i> (2)	Ausência em 100 mL
SAA e SAC Saída tratamento	Coliformes totais (3)	Ausência em 100 mL
Sistema distribuição e pontos de consumo	<i>Escherichia coli</i> (2)	Ausência em 100 mL

(1) Valor máximo permitido; (2) Indicador de contaminação fecal; (3) Indicador de eficiência de tratamento; SAI: solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano; SAA: sistema de abastecimento de água para consumo humano; SAC: solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano.

Fonte: BRASIL (2021).

A avaliação microbiológica da água obtida através dos quatro testes foi necessária para garantir os parâmetros de potabilidade em relação aos coliformes totais e termo tolerantes (*E. Coli*). A Tabela 8 apresenta os resultados microbiológicos para coliformes totais e termotolerantes, onde a letra “A” representa ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra de água.

Tabela 8 - Avaliação microbiológica

T1		T2		T3		T4	
Coliformes Termotolerantes (<i>E. Coli</i>)	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes (<i>E. Coli</i>)	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes (<i>E. Coli</i>)	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes (<i>E. Coli</i>)	Coliformes Totais
A	A	A	A	A	A	A	A

Fonte: do autor (2021).

A partir da obtenção dos resultados, pode-se perceber que os dois desinfetantes utilizados evidenciaram ser eficientes para o controle bacteriológico das amostras, pois nenhum dos quatro testes apresentaram crescimento de colônias de coliformes totais ou termotolerantes, atendendo assim a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021).

3.7 Avaliação econômica prévia

De acordo com a pesquisa realizada com as empresas que fornecem os insumos sulfato de alumínio e hipoclorito de sódio, e com potenciais fornecedores de dióxido de cloro e coagulantes a base de tanino vegetal, é apresentado na Tabela 9, os valores dos insumos por kg, e o valor mensal baseado no volume de água tratada para abastecimento da cervejaria em estudo.

Tabela 9 - Avaliação econômica dos insumos para o tratamento da água

Insumo	Valor (m³)	Valor mensal (360.000 m³ tratados)
Sulfato de alumínio 8%	R\$ 0,0469	R\$ 16.884,00
Coagulante a base de tanino vegetal 30%	R\$ 0,1000	R\$ 36.000,00
Hipoclorito de sódio 12%	R\$ 0,0108	R\$ 3.888,00
Dióxido de cloro 12%	R\$ 0,0170	R\$ 6.102,00

Fonte: do autor (2021).

Economicamente, a avaliação prévia do custo dos insumos utilizados no tratamento atual de água na ETA da cervejaria, apresentam menor custo em relação aos insumos propostos pelo estudo.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho buscou-se avaliar a influência da mudança de insumos químicos no tratamento de água de uma cervejaria em relação à formação de THM e a qualidade sensorial. Como resultados, foi observado que a formação de THM na água cervejeira apresentou correlação com a concentração de matéria orgânica presente na água bruta, o que evidenciou a necessidade de melhorar o processo de remoção de matéria orgânica através do uso de coagulantes alternativos na ETA. Neste estudo, o coagulante a base de tanino modificado apresentou-se como uma excelente opção. Foi possível observar ainda o papel dos desinfetantes hipoclorito de sódio e dióxido de cloro na formação de THM, sendo que, quando o dióxido de cloro foi aplicado, obteve-se menores concentrações de THM na água cervejeira. Entre os quatro testes realizados a partir do uso dos insumos escolhidos para o estudo, o teste que utilizou coagulante a base de tanino modificado combinado com o desinfetante dióxido de cloro apresentou o melhor desempenho em relação a redução da formação de THM. Além disto, a qualidade sensorial da água cervejeira foi superior nestas condições. Assim, conclui-se que a substituição dos produtos atualmente utilizados, sulfato de alumínio e hipoclorito de sódio, por coagulante e base de tanino modificado e dióxido de cloro traz vantagens ao processo de tratamento de água que poderão contribuir com a produção de uma cerveja de melhor qualidade.

Sugere-se novas pesquisas nesta linha de estudo para a identificação e quantificação de outros subprodutos de desinfecção causados pelo dióxido de cloro, que podem, em menor proporção, também alterar a qualidade sensorial da água e do produto acabado. Também pode ser estudado a dosagem de dióxido de cloro em diferentes pontos, com objetivo de otimizar os tempos de contato, e ao mesmo tempo permitir a garantia de qualidade microbiológica, físico-química e sensorial da água cervejeira. Em relação a análise econômica, os insumos propostos pelo estudo apresentam maior custo que os insumos utilizados atualmente, porém, em contrapartida também deverá levar-se em conta os custos com a destinação do lodo que não foram estudados neste momento, e os impactos positivos na qualidade da água e da cerveja como produto acabado que poderá fidelizar mais consumidores.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14140**: Alimentos e bebidas – Análise sensorial – Teste de análise descritiva quantitativa (ADQ). Rio de Janeiro, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Estudo da Agência Nacional de Águas aborda uso da água no setor industrial**. Ministério do Desenvolvimento Regional, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial#:~:text=O%20estudo%20revela%20que%20os,recurso%20pela%20ind%C3%A9stria%20da%20transforma%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 05 out. 2021.

ALVARADO, D. M.; GARCIA, H. C.; SOLANO, A. M. Cáncer gástrico en Costa Rica: existe o no relación con la cloración del agua para consumo humano? **Revista Costarricense de Salud Pública**, v. 16, n. 30, p. 62-73, 2007.

ALVARENGA, J. A.; **Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consume humano**. 2010. 120p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ANDERSON, H. E. et al. A review of the analytical methods used for beer ingredient and finished product analysis and quality control. **Analytica chimica acta**, v. 1085, p. 1-20, 2019.

APHA. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0.

ARANTES, C. C. et al. Use of natural coagulants based on Moringa oleifera and tannin as filter aids for non-woven synthetics fabrics. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 780-788, 2014. Doi: 10.1590/S0100-69162014000400017

ARAÚJO, F. B.; SILVA, P. H. A.; MINIM, V. P. R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 121-128, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000200004>

ARAÚJO, F. C. et al. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção (Physical characterization of the residue of a water treatment plant for using in building materials). **Cerâmica**, v. 61, n. 360, p. 450-456, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613601931>

ARJONA-RODRÍGUEZ, Sindy et al. Efecto del punto de precloración sobre la formación de Trihalometanos en procesos convencionales de potabilización de agua. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v. 11, n. 20, p. 57-65, 2012.

BATISTA, M. A. et al. Development, characterization and sensory analysis of food preparations for children containing whey proteins or albumin. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, p. 31-41, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.3214>

BONGIOVANI, M. C. et al. Removal of natural organic matter and trihalomethane minimization by coagulation/flocculation/filtration using a natural tannin. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 12, p. 5406-5415, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1006260>

BRASIL. Constituição (2021). **Portaria Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro 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. Distrito Federal, DF, 4 mai. 2021. n. 85, 127p. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562> Acesso em: 14 nov. 2021.

BURTSCHELL, R. H. et al. Chlorine derivatives of phenol causing taste and odor. **Journal-American Water Works Association**, v. 51, n. 2, p. 205-214, 1959. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1959.tb15722.x>

CALDERÓN, J. et al. Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público. **Gaceta Sanitaria**, v. 16, n. 3, p. 241-243, 2002.

CARVALHO, E. R. et al. Interactions of chlorine with tropical aquatic fulvic acids and formation of intermediates observed by fluorescence spectroscopy. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 15, n. 3, p. 421-426, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532004000300013>

CERVBRASIL. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **A indústria de cerveja na América Latina é muito focada na redução do consumo de água e energia**. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja, 2018. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/a-industria-de-cerveja-na-america-latina-e-muito-focada-na-reducao-do-consumo-de-agua-e-energia/ Acesso em: 15 out. 2021.

CHOWDHURY, S.; CHAMPAGNE, P.; MCLELLAN, P. J. Investigating effects of bromide ions on trihalomethanes and developing model for predicting bromodichloromethane in drinking water. **Water Research**, v. 44, n. 7, p. 2349-2359, 2010.

COGOLLO, M. E. H.; NEGRETE, J. L. M. Trihalomethanes and arsenic in drinking water in Chinú and Corozal municipalities in Colombia: health risk assessment. **Ingeniería y Desarrollo**, v.34, n.1, pp.88-115, 2016.

DELA JUSTINA, Marciel. **Aplicação de tanino vegetal como coagulante no tratamento de efluentes de laticínios e gestão do lodo para aplicação**

agronômica. 2017. 123p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2017.

DELIZA, R.; ROSENTHAL, A.; SILVA, A.L.S. Consumer attitude towards information on non-conventional technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 1-2, p. 43-49, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª Ed. São Carlos: RiMa, 792 p, 2005.

ESCOLA SUPERIOR DE CERVEJA E MALTE. **A importância da água na fabricação de cerveja**. Escola Superior de Cerveja e Malte, 2017. Disponível em: <http://cervejaemalte.com.br/blog/a-importancia-da-agua-na-fabricacao-de-cerveja/>

EUWA. **Brauwasseraufbereitung: Qualität, Geschmack und Wirtschaftlichkeit – Made in Germany**. 2021. Disponível em: <https://www.euwa.com/brauwasseraufbereitung.html> Acesso em: 21 set. 2021.

FERREIRA FILHO, S. S.; ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 362-370, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000400009>

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 7-15, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100002>

GARCÍA, Indiana. **Removal of natural organic matter by enhanced coagulation in Nicaragua**. 2005. 68p. Tese de Doutorado. Department of Chemical Engineering and Technology. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.

GRAHAM, N. et al. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects**, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008.

JULIO, M. et al. Desenvolvimento de equipamento de monitoramento contínuo da floculação. **Revista DAE**, v. 63, n. 200, p. 13-24, 2015. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_200_n_1611.pdf

KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal-American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1991.tb07236.x>

KHORDAGUI, H. K.; MANCY, H. K. Formation of trihalomethanes during disinfection of drinking water. **Water Quality Bulletin**, v. 8, p. 37-43, 1983.

KUNZE, W. Beer production. In. **Technology brewing and malting**. International Ed. VLB Berlin, p. 323-335, 1999.

MANGRICH, Antonio S. et al. Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.

MAUTONE, C., KAZUKO, M. **Apostila para curso de análise sensorial**. SABESP - São Paulo, 2004.

MEERT, R.; HASTENPFLUG, D.; ANDRADE, J. J. O. Contribuição para o uso de lodo de estação de tratamento de água in natura como agregado miúdo em concretos de cimento Portland: Avaliação da consistência, massa específica, porosidade, absorção, resistência à compressão e tração na compressão diametral. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, n. 3, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210003.13025>

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>

MONTEIRO, R. T. R. et al. Chemical and ecotoxicological assessments of water samples before and after being processed by a Water Treatment Plant. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 6-18, 2014. Doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1292>

MONTEIRO, J. M. et al. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 892-896, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000500029>

NARDELI, Gabriel. **Proposta de desenvolvimento e validação de um novo software voltado para análise sensorial de alimentos**. 2017. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2017.

OLADOJA, N. A. Advances in the quest for substitute for synthetic organic polyelectrolytes as coagulant aid in water and wastewater treatment operations. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 3, p. 47-58, 2016.

ORTENBERG, E.; TELSCH, B. 42 – Taste and odour problems in potable water. In. MARA, Duncan; HORAN, Nigel J. (Ed.). **Handbook of water and wastewater microbiology**. Elsevier, 2003. p. 777-93. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-012470100-7/50043-1>

ÖZACAR, Mahmut; ŞENGİL, İ. Ayhan. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 229, n. 1-3, p. 85-96, 2003.

PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D. P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 19, n. 3, p. 204-211, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762014000300003>

PASCHOALATO, C. F. P. R. et al. Aplicação da técnica por cromatografia a gás para investigação da formação de sub produtos da desinfecção em água potável. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 289-294, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000300011>

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Determinação do oxigênio consumido**. São Paulo, 2008. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-do-oxigenio-consumido/> Acesso em: 4 set. 2021.

PORTO, Suely Kikuchi Sato Soares. **Controle e vigilância de trihalometanos em água de abastecimento humano**: o caso do desastre ambiental dos rios Pomba e Paraíba do Sul. 2008. 163p. (Dissertação) - Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública. Programa de Pós-Graduação da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2008.

RICHTER, Carlos A. **Água**: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

ROLLEMBERG, S.; MAGALHÃES, J. TÉCNICAS SIMPLIFICADAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 2, 2020.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Revista Química Nova**. São Paulo, v. 37, p. 98-105, 2015.

SANCHES, S.M. et al. Estudo da formação de subprodutos clorados na etapa de pré-oxidação com dióxido de cloro. In: **Forjando el Ambiente que Compartimos**. AIDIS: San Juan, 2004.

SANTOS, E. P. C. C. et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000400002>

SARAVANAN, J. et al. Wastewater treatment using natural coagulants. **SSRG International Journal of Civil Engineering**, v. 4, n. 3, p. 40-42, 2017. DOI: [10.14445/23488352/IJCE-V4I3P109](https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V4I3P109)

SCHMITT, F. O.; RODRIGUES, R. T.; OLIVEIRA, C. Efficacy of two natural tannins-based polymers in contrast to aluminum sulfate for drinking water production. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 3, p. 100099, 2021.

SERNA, D. M. S.; PEÑUELA, G. A. Effect of pre-oxidation with chlorine dioxide on the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water system. **Revista Politécnica**, n. 22, p. 9-20, 2016.

SILVA, B. H. L.; MELO, M. A. B. Trihalometanos em água potável e riscos de câncer: simulação usando potencial de interação e transformações de Bäcklund. **Química Nova**, v. 38, n. 3, p. 309-315, 2015. Doi: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150013>

SINGER, P.C. Control of disinfection by-products in drinking water. **Journal of Environmental Engineering**, v.120, n.4, p.727-744, 1994.

TEIXEIRA, S. P. R. B. **Compostos responsáveis pelo “off-flavor” da cerveja: caracterização e impacto sensorial**. 2016. 99p. (Dissertação) - Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar. Departamento Química e Bioquímica. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2016.

TOMINAGA, Maria Y.; MIDIO, Antonio F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, p. 413-421, 1999.

WHO. World Health Organization. **Trihalomethanes in Drinking-water**. 2005 Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf Acesso em: 15 set. 2021.

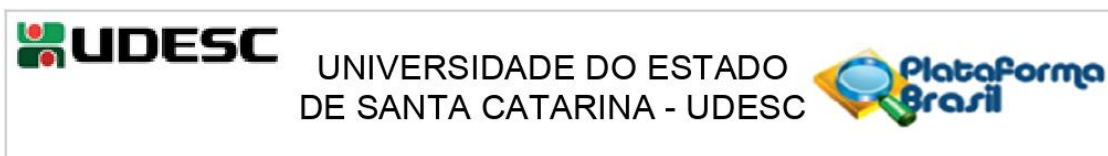
WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality – fourth edition incorporating the first addendum**. 4. ed. 2017. 631 p. ISBN: 978-92-4-154995-0 Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> Acesso em: 15 set. 2021.

YIN, Chun-Yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, 2010.

ZANATTA, Kathia. **Apostila do Curso de Sommelier de Cerveja**. Instituto da Cerveja Brasil, 2010.

APÊNDICE

APÊNDICE A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISAS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Substituição de insumos para redução de trihalometanos na água em uma cervejaria de Lages/SC: avaliação da qualidade físico-química e sensorial

Pesquisador: ARLIANA CAON

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 52284821.0.0000.0118

Instituição Proponente: FUND INST DE APOIO AO ENSINO PESQUISA E EXTENSAO DO CAV

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.085.301

Apresentação do Projeto:

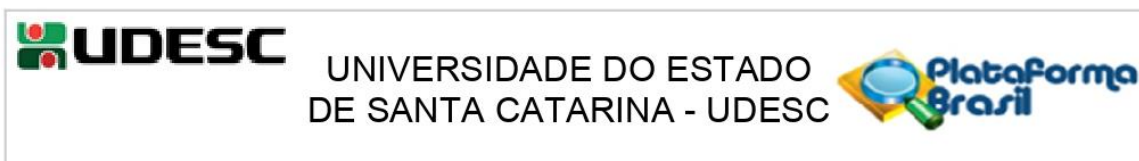
Protocolo de segunda versão do projeto de mestrado em Ciências Ambientais intitulado: "Substituição de insumos para redução de trihalometanos na água em uma cervejaria de Lages/SC: avaliação da qualidade físico-química e sensorial", proveniente do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) UDESC, tendo como pesquisadora a mestranda Arliana Caon, sob orientação do Prof. Dr Everton Skoronski e membros da pesquisa a Profa. Dra. Carla Ivane Ganz Vogel e Prof.Dr. GILMAR CONTE.

HIPÓTESE:

- A substituição do coagulante sulfato de alumínio pelo tanino vegetal irá reduzir a formação de THM;
- A utilização do dióxido de cloro alternativamente ao hipoclorito de sódio na etapa de desinfecção irá reduzir a formação de THM;
- A utilização do tanino e/ou dióxido de cloro irá preservar a qualidade microbiológica e aumentar a qualidade sensorial da água cervejeira quando comparado ao uso do sulfato de alumínio e/ou cloro livre.

PARTICIPANTES: 10

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2 Térreo 2 sala CEP/UDESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

Critério de Inclusão:

Grupo de degustadores do painel sensorial da cervejaria em estudo, composto por 10 pessoas treinadas e habilitadas para análise sensorial de água.

Critério de Exclusão:

Qualquer indivíduo que não faça parte do grupo de 10 degustadores do painel sensorial da cervejaria em estudo.

METODOLOGIA PROPOSTA DESCRITA NO PROJETO BÁSICO:

O estudo será realizado a partir do tratamento de amostras de água bruta coletadas no ponto de captação de água da cervejaria, localizado no Rio Caveiras, no município de Lages – SC. As amostras serão submetidas a um tratamento convencional, passando pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, seguindo os parâmetros de potabilidade de água, conforme a Portaria GM/MS N° 888, DE 4 DE MAIO DE 2021, para posterior análises físico-químicas e sensorial. A análise sensorial será realizada pelo painel de degustadores da cervejaria, composto por 10 pessoas aptas, treinadas e capacitadas para análise sensorial de água.

METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DADOS DESCRITA NO PROJETO BÁSICO:

Os dados obtidos através dos testes aplicados serão submetidos a análise estatística para avaliação da influência do uso dos insumos alternativos na qualidade da água.

CRONOGRAMA

ANÁLISES PARA AMOSTRAGEM - 19/11/2021 a 15/12/2021

Defesa Dissertação - 20/12/2021 a 20/12/2021

Discussão dos resultados e considerações finais - 16/12/2021 a 17/12/2021

Tratamento estatístico dos dados - 15/12/2021 a 16/12/2021

ORÇAMENTO - financiamento próprio:

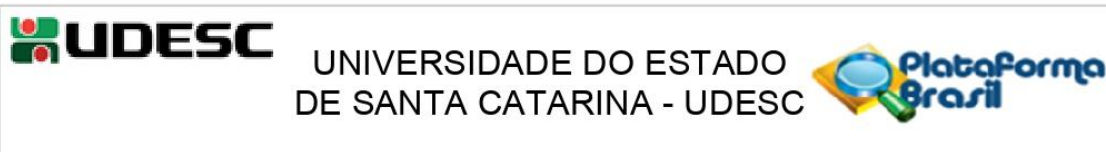
Reagentes utilizados no projeto 1.000,00 reais

Objetivo da Pesquisa:

PRIMÁRIO:

- Avaliar a possibilidade de redução da formação de trihalometanos na água cervejeira pela

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2º Térreo 2º sala CEP/UESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

substituição do coagulante e agente de desinfecção atualmente utilizado na cervejaria onde o projeto será desenvolvido.

SECUNDÁRIO:

- Avaliar a influência da cor, turbidez e matéria orgânica da água cervejeira na formação de trihalometanos no processo atual;
- Avaliar comparativamente o papel do tanino vegetal e do sulfato de alumínio e da desinfecção via adição de cloro livre e dióxido de cloro com relação à formação de trihalometanos;
- Avaliar a influência da substituição do coagulante e do agente de desinfecção na qualidade microbiológica e sensorial da água cervejeira, utilizando um painel composto por 10 degustadores para análise sensorial da água.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

RISCOS:

O risco avaliado da análise sensorial de água para os degustadores é classificado como médio, devido a necessidade de ingestão das amostras de água tratada. Para qualquer adversidade que possa ocorrer com os degustadores, os mesmos serão encaminhados para a Unidade de Pronto Atendimento - UPA 24h, do município de Lages - SC.

A possibilidade de reações decorrentes da concentração de trihalometanos é considerada baixa, uma vez que o histórico dos resultados de trihalometanos na água cervejeira da cervejaria em estudo atendem a especificação de no máximo 100 ppb de trihalometanos totais, e os testes que serão realizados têm por objetivo reduzir ainda mais a formação destes compostos, pois visa a máxima redução para melhorar a qualidade sensorial,

onde o limite máximo de concentração é mais restrito inclusive que o limite que a legislação vigente estabelece. Além disso, como já foi citado anteriormente, as análises sensoriais serão realizadas somente após as análises físico-químicas, onde não serão degustadas amostras com concentração de trihalometanos acima do limite permitido estabelecido pela Portaria GM/MS N° 888, de 4 de maio de 2021. Porém, se mesmo assim

ocorrer alguma reação, os degustadores serão encaminhados à UPA, com o acompanhamento da responsável pela pesquisa – Engenheira Química Arliana Caon – que também terá em mãos a FISPQ – Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos – dos insumos utilizados nos ensaios de tratabilidade das amostras para apresentar ao serviço médico e auxiliar no tratamento devido. Em relação aos riscos de transmissão de COVID-19, durante a pandemia do COVID-19, a cervejaria em estudo adotou medidas preventivas, e as mesmas também serão respeitadas para a

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2, Térreo 2, sala CEP/UDESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

aplicação dos testes sensoriais. Desta forma, é indispensável o uso de máscaras de proteção, sendo permitido apenas retirá-las no momento da degustação, onde deverá ser respeitada a limitação do espaço protegido por barreiras físicas em acrílico

para impedir o contato, na mesa de degustação. Além disso, os copos são higienizados antes e após as análises sensoriais e servidos com o uso de luvas descartáveis, também para evitar o contato. Outras orientações de como lavar as mãos, uso de álcool em gel para as mãos, capacidade máxima das salas e o distanciamento seguro serão realizadas com frequência também para evitar qualquer transmissão.

BENEFÍCIOS:

Os benefícios deste projeto serão indiretos e a longo prazo, pois contribuirão para o estudo da qualidade de água para indústria de bebidas e também para consumo humano em geral.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O protocolo de pesquisa na segunda versão apresentou dados e mudanças nos documentos importantes para a compreensão da pesquisa. O projeto está estruturado e embasado para a análise ética. Os objetivos apresentados no PB são os mesmos do PD; e são passíveis de desenvolvimento para pesquisa científica.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O protocolo de pesquisa na nova versão apresentou os seguintes novos documentos:

1. Projeto Básico;
2. Formulário sensorial;
3. TCLE;
4. Cronograma;
5. Projeto detalhado;
6. Carta de encaminhamentos

Recomendações:

Sem recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O protocolo de pesquisa submetido na primeira versão apresentava as seguintes pendências a serem atendidas:

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2 Térreo 2 sala CEP/UDESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

1. Informar em qual período ocorrerá a análise sensorial da água tratada (se após as demais análises?), esclarecendo quantas vezes e como ocorrerá a degustação (análise sensorial) da água durante o estudo (individual? forma de degustação? quantas análises?). Ainda, descrever se haverá instrumentos para preenchimento durante a análise sensorial (descreve que ocorrerá análise visual, odor e de sabor, das amostras de água tratada, classificando o resultado como OK e NOK, e descrevendo, se houver, os possíveis desvios em estudo, mas não informa instrumento). Informar no projeto básico e detalhado, e anexar o(s) instrumento(s); **PENDÊNCIA ATENDIDA**
2. Esclarecer se os degustadores do painel sensorial da cervejaria em estudo totalizam 10 pessoas, as quais serão convidadas a participar do estudo, ou haverá algum tipo de seleção. **PENDÊNCIA ATENDIDA**
3. Descrever a aplicação e assinatura dos TCLE pelos participantes antes da coleta de dados (degustação). **PENDÊNCIA ATENDIDA**
4. Esclarecer quais serão os procedimentos e atendimentos encaminhados pela equipe de pesquisadores em caso de alguma reação aos degustadores (participantes) decorrente da concentração de trihalometanos durante ou após o experimento. Esclarecer ainda acerca do encaminhamento à UPA, quem acompanhará o participante? Incluir essa descrição no projeto básico e detalhado; **PENDÊNCIA ATENDIDA**
5. Descrever os cuidados preventivos para a COVID-19 durante a realização da coleta de dados da pesquisa - informar no projeto básico e detalhado; **PENDÊNCIA ATENDIDA**
6. Esclarecer sobre possível conflito de interesse para a realização da pesquisa na empresa, sendo que a instituição responsável pela pesquisa trata-se de instituição pública; **JUSTIFICADO PELA PESQUISADORA E ATENDIDA**
7. Esclarecer acerca dos participantes que pertencem ao painel de degustadores da empresa e possível conflito de interesse nos resultados do estudo; **PENDÊNCIA ATENDIDA**
8. Esclarecer se haverá financiamento e/ou patrocínio da pesquisa (se houver modificar na Plataforma Brasil que consta Financiamento Próprio), e padronizar o orçamento do projeto básico

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2.º Térreo 2.º sala CEP/UDESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

(Plataforma Brasil) (consta R\$1000,00) e projeto detalhado (consta R\$ 1430,00). A pesquisadora ajustou os valores. **PENDÊNCIA ATENDIDA**

9. Incluir na Plataforma Brasil as demais etapas do cronograma da pesquisa, conforme consta no projeto detalhado; **PENDÊNCIA ATENDIDA**

10. Mencionar sobre como os dados da pesquisa serão armazenados e descartados - Informar no projeto básico e detalhado. A pesquisadora justifica que somente serão anotados os resultados das análises sensoriais não exigindo armazenamento de dados. A relatoria entendendo o tipo de estudo e pelo número reduzido de participantes aceita a justificativa. **PENDÊNCIA ATENDIDA.**

Considerações Finais a critério do CEP:

A Diretoria APROVA o Protocolo de Pesquisa e informa que, qualquer alteração necessária ao planejamento e desenvolvimento do Protocolo Aprovado ou cronograma final, seja comunicada ao CEP via Plataforma Brasil na forma de EMENDA, para análise sendo que para a execução deverá ser aguardada aprovação final do CEP. A ocorrência de situações adversas durante a execução da pesquisa deverá ser comunicada imediatamente ao CEP via Plataforma Brasil, na forma de NOTIFICAÇÃO. Em não havendo alterações ao Protocolo Aprovado e/ou situações adversas durante a execução, deverá ser encaminhado RELATÓRIO FINAL ao CEP via Plataforma Brasil até 60 dias da data final definida no cronograma, para análise e aprovação. Lembramos ainda, que o participante da pesquisa ou seu representante legal, quando for o caso, bem como o pesquisador responsável, deverão rubricar todas as folhas do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE - apondo suas assinaturas na última página do referido Termo.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1824369.pdf	03/11/2021 21:12:46		Aceito
Outros	Formulario_Sensorial.xlsx	03/11/2021 21:12:10	ARLIANA CAON	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de	TCLE.doc	03/11/2021 21:10:34	ARLIANA CAON	Aceito

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2 Térreo 2 sala CEP/UDESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com



Continuação do Parecer: 5.085.301

Ausência	TCLE.doc	03/11/2021 21:10:34	ARLIANA CAON	Aceito
Outros	Carta_Encaminhamento_CEP.docx	03/11/2021 21:08:38	ARLIANA CAON	Aceito
Cronograma	Cronograma.xlsx	03/11/2021 21:06:32	ARLIANA CAON	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Mestrado_THM.docx	03/11/2021 21:05:31	ARLIANA CAON	Aceito
Declaração de concordância	declaracao_ciencia.pdf	01/10/2021 22:46:58	ARLIANA CAON	Aceito
Folha de Rosto	folha_rosto.pdf	01/10/2021 22:46:27	ARLIANA CAON	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 08 de Novembro de 2021

Assinado por:
Gesilani Júlia da Silva Honório
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Madre Benvenutta, 2007, Reitoria 2, Térreo 2 sala CEP/UESC
Bairro: Itacorubi **CEP:** 88.035-001
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3664-8084 **Fax:** (48)3664-8084 **E-mail:** cep.udesc@gmail.com

ANEXOS

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO ÁGUA BRUTA E QUANTIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

Lote	Data	Precipitação (mm)	Turbidez (NTU)	Matéria orgânica (mg L ⁻¹)	Cor aparente (mg Pt-Co L ⁻¹)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	pH
1	02/04/2019	0,00	7,2	5,23	12	14,9	7,05
2	07/04/2019	0,00	6,7	5,9	19	24,9	7,02
3	14/04/2019	0,00	6,6	5,99	23	26,1	6,98
4	21/04/2019	0,20	5,9	5,57	11	24,9	6,90
5	28/04/2019	0,60	6,9	5,88	20	27,9	6,87
6	05/05/2019	0,00	6,5	5,9	16	22,9	6,97
7	12/05/2019	1,40	6,1	5,98	14	22,9	6,95
8	19/05/2019	0,00	5,2	9,71	10	23,2	7,05
9	29/05/2019	24,40	8,68	7,89	9	22,7	6,98
10	05/06/2019	71,20	49,5	15,7	98	23,5	6,95
11	12/06/2019	0,20	14,17	8,1	15	22,6	6,98
12	19/06/2019	0,80	14,37	8,05	23	24,1	6,99
13	26/06/2019	10,80	28	12,9	79	28,2	6,92
14	03/07/2019	6,90	20,72	9,7	52	26,4	7,00
15	10/07/2019	0,40	15,43	8,78	34	23,3	6,97
16	17/07/2019	0,60	7,98	6,7	18	13	7,05
17	24/07/2019	5,80	13,67	7,98	31	16	7,03
18	31/07/2019	1,80	6,3	5,95	22	20,3	6,98
19	07/08/2019	3,60	24,53	9,1	36	29,8	6,95
20	14/08/2019	1,60	13,21	6,92	20	29,2	6,97
21	21/08/2019	0,20	7,67	7,87	16	25,5	7,00
22	28/08/2019	0,50	6,94	5,98	17	11	7,01
23	04/09/2019	1,90	9,66	6,98	16	24	7,06
24	11/09/2019	1,30	8,18	5,4	17	23,4	6,93
25	18/09/2019	1,70	7,08	7,03	15	10,7	6,99
26	25/09/2019	19,40	10,45	6,07	17	16,3	6,98
27	02/10/2019	0,80	6,98	7,09	19	18,5	6,90
28	09/10/2019	0,00	5,61	5,34	14	23,3	6,90
29	16/10/2019	0,00	6,03	6,65	16	16,5	6,93
30	23/10/2019	0,00	6,01	5,9	20	18,7	6,98
31	30/10/2019	0,00	5,81	5,45	13	8,1	6,90
32	06/11/2019	1,90	7,17	6,31	11	13,3	6,93
33	13/11/2019	1,20	7,3	6,54	10	11,5	7,13
34	20/11/2019	1,60	7,3	6,63	13	13,2	7,09
35	27/11/2019	24,60	25,02	10,9	56	9,5	7,08
36	04/12/2019	27,00	15,17	8,82	31	17,9	7,02
37	11/12/2019	3,20	9,87	7,3	22	8,8	6,99
38	18/12/2019	14,40	12,03	7,67	27	10,5	6,91
39	16/01/2020	12,40	11,34	7,74	31	17,1	6,80
40	17/01/2020	6,60	8,86	6,99	23	16,6	6,99
41	24/01/2020	9,00	7,6	6,64	19	19,7	7,05
42	31/01/2020	3,80	5,98	6,89	21	21,9	6,98
43	07/02/2020	12,70	9,78	6,56	22	22,5	7,03
44	14/02/2020	10,80	6,86	5,7	18	18,3	6,96
45	21/02/2020	0,00	5,36	2,8	9	18,3	6,96
46	28/02/2020	3,40	5,59	5,05	13	17,5	7,06
47	06/03/2020	0,00	4,56	2,6	5	17	6,96
48	13/03/2020	0,00	6,36	2,8	16	16,6	6,92
49	20/03/2020	0,20	6,23	2,34	10	10,5	6,99
50	31/03/2020	0,80	7,04	2,11	17	15,1	6,98

ANEXO B – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NA ÁGUA TRATADA

Lote	Data	T1	T2	T3	T4
		Residual cloro livre (ppm)	Residual dióxido cloro (ppm)	Residual cloro livre (ppm)	Residual dióxido cloro (ppm)
1	04/04/20	0,35	0,32	0,37	0,32
2	18/04/20	0,41	0,35	0,4	0,34
3	25/04/20	0,36	0,3	0,36	0,31
4	02/05/20	0,35	0,38	0,36	0,38
5	06/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
6	07/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
7	08/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
8	11/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
9	12/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
10	20/06/20	0,33	0,4	0,36	0,39
11	27/06/20	0,42	0,37	0,43	0,38
12	02/07/20	0,42	0,37	0,43	0,38
13	04/07/20	0,38	0,36	0,37	0,37
14	08/07/20	0,42	0,37	0,43	0,38
15	11/07/20	0,31	0,3	0,32	0,32
16	18/07/20	0,42	0,37	0,43	0,38
17	01/08/20	0,36	0,39	0,37	0,38
18	08/08/20	0,31	0,37	0,33	0,38
19	15/08/20	0,42	0,37	0,43	0,38
20	05/09/20	0,39	0,39	0,39	0,42
21	26/09/20	0,39	0,43	0,38	0,48
22	03/10/20	0,35	0,36	0,35	0,34
23	10/10/20	0,37	0,38	0,34	0,39
24	03/11/20	0,31	0,36	0,32	0,35
25	07/11/20	0,29	0,3	0,28	0,29
26	03/12/20	0,32	0,31	0,32	0,39
27	11/12/20	0,34	0,42	0,36	0,49
28	07/01/21	0,42	0,37	0,43	0,38
29	08/01/21	0,37	0,37	0,38	0,37
30	13/01/21	0,39	0,36	0,39	0,33
31	19/01/21	0,42	0,37	0,43	0,48
32	13/02/21	0,36	0,29	0,37	0,3
33	19/02/21	0,42	0,34	0,41	0,37
34	20/03/21	0,45	0,39	0,43	0,38
35	27/03/21	0,41	0,36	0,44	0,39
36	09/04/21	0,35	0,38	0,32	0,38
37	24/04/21	0,29	0,32	0,3	0,33
38	05/05/21	0,3	0,28	0,33	0,29
39	29/05/21	0,39	0,27	0,4	0,29
40	19/06/21	0,31	0,33	0,31	0,34
41	26/06/21	0,3	0,32	0,31	0,31
42	03/07/21	0,38	0,29	0,4	0,28
43	10/07/21	0,39	0,27	0,38	0,29
44	27/07/21	0,4	0,32	0,37	0,37
45	17/08/21	0,34	0,39	0,36	0,35
46	21/08/21	0,39	0,3	0,4	0,34
47	22/08/21	0,43	0,33	0,44	0,29
48	23/08/21	0,4	0,27	0,4	0,26
49	24/08/21	0,42	0,3	0,41	0,33
50	25/08/21	0,37	0,45	0,38	0,52
51	26/08/21	0,29	0,4	0,31	0,41
52	28/08/21	0,33	0,38	0,32	0,39
53	07/09/21	0,34	0,32	0,35	0,3
54	10/09/21	0,35	0,38	0,37	0,37
55	14/09/21	0,33	0,35	0,3	0,34

ANEXO C – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T1

Data	T1 - Sulfato alumínio + hipoclorito sódio				
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
04/04/2020	76,23	36,96	13,86	13,09	12,32
18/04/2020	62,37	30,24	11,34	10,71	10,08
25/04/2020	80,19	38,88	14,58	13,77	12,96
02/05/2020	110,88	53,76	20,16	19,04	17,92
06/06/2020	44,55	21,60	8,10	7,65	7,20
07/06/2020	141,57	68,64	25,74	24,31	22,88
08/06/2020	111,87	54,24	20,34	19,21	18,08
11/06/2020	145,53	70,56	26,46	24,99	23,52
12/06/2020	126,72	61,44	23,04	21,76	20,48
20/06/2020	95,04	46,08	17,28	16,32	15,36
27/06/2020	123,75	60,00	22,50	21,25	20,00
02/07/2020	117,81	57,12	21,42	20,23	19,04
04/07/2020	107,91	52,32	19,62	18,53	17,44
08/07/2020	131,67	63,84	23,94	22,61	21,28
11/07/2020	109,89	53,28	19,98	18,87	17,76
18/07/2020	143,55	69,60	26,10	24,65	23,20
01/08/2020	105,93	51,36	19,26	18,19	17,12
08/08/2020	101,97	49,44	18,54	17,51	16,48
15/08/2020	125,73	60,96	22,86	21,59	20,32
05/09/2020	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72
26/09/2020	83,16	40,32	15,12	14,28	13,44
03/10/2020	88,11	42,72	16,02	15,13	14,24
10/10/2020	94,05	45,60	17,10	16,15	15,20
03/11/2020	57,42	27,84	10,44	9,86	9,28
07/11/2020	72,27	35,04	13,14	12,41	11,68
03/12/2020	110,88	53,76	20,16	19,04	17,92
11/12/2020	130,68	63,36	23,76	22,44	21,12
07/01/2021	147,51	71,52	26,82	25,33	23,84
08/01/2021	127,71	61,92	23,22	21,93	20,64
13/01/2021	125,73	60,96	22,86	21,59	20,32
19/01/2021	136,62	66,24	24,84	23,46	22,08
13/02/2021	88,11	42,72	16,02	15,13	14,24
19/02/2021	99,99	48,48	18,18	17,17	16,16
20/03/2021	56,43	27,36	10,26	9,69	9,12
27/03/2021	130,68	63,36	23,76	22,44	21,12
09/04/2021	48,51	23,52	8,82	8,33	7,84
24/04/2021	53,46	25,92	9,72	9,18	8,64
05/05/2021	55,44	26,88	10,08	9,52	8,96
29/05/2021	70,29	34,08	12,78	12,07	11,36
19/06/2021	72,27	35,04	13,14	12,41	11,68
26/06/2021	94,05	45,60	17,10	16,15	15,20
03/07/2021	64,35	31,20	11,70	11,05	10,40
10/07/2021	52,47	25,44	9,54	9,01	8,48
27/07/2021	86,13	41,76	15,66	14,79	13,92
17/08/2021	87,12	42,24	15,84	14,96	14,08
21/08/2021	116,82	56,64	21,24	20,06	18,88
22/08/2021	77,22	37,44	14,04	13,26	12,48
23/08/2021	80,19	38,88	14,58	13,77	12,96
24/08/2021	78,21	37,92	14,22	13,43	12,64
25/08/2021	88,11	42,72	16,02	15,13	14,24
26/08/2021	78,21	37,92	14,22	13,43	12,64
28/08/2021	132,66	64,32	24,12	22,78	21,44
07/09/2021	100,98	48,96	18,36	17,34	16,32
10/09/2021	93,06	45,12	16,92	15,98	15,04
14/09/2021	133,65	64,80	24,30	22,95	21,60

ANEXO D – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T2

Data	T2 - Sulfato alumínio + dióxido cloro				
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
04/04/2020	6,04	2,93	1,10	1,04	0,98
18/04/2020	5,74	2,78	1,04	0,99	0,93
25/04/2020	5,94	2,88	1,08	1,02	0,96
02/05/2020	6,53	3,17	1,19	1,12	1,06
06/06/2020	4,26	2,06	0,77	0,73	0,69
07/06/2020	13,86	6,72	2,52	2,38	2,24
08/06/2020	12,97	6,29	2,36	2,23	2,10
11/06/2020	14,16	6,86	2,57	2,43	2,29
12/06/2020	12,38	6,00	2,25	2,13	2,00
20/06/2020	9,80	4,75	1,78	1,68	1,58
27/06/2020	11,19	5,42	2,03	1,92	1,81
02/07/2020	12,18	5,90	2,21	2,09	1,97
04/07/2020	6,73	3,26	1,22	1,16	1,09
08/07/2020	12,77	6,19	2,32	2,19	2,06
11/07/2020	6,93	3,36	1,26	1,19	1,12
18/07/2020	9,60	4,66	1,75	1,65	1,55
01/08/2020	10,69	5,18	1,94	1,84	1,73
08/08/2020	6,53	3,17	1,19	1,12	1,06
15/08/2020	10,00	4,85	1,82	1,72	1,62
05/09/2020	5,64	2,74	1,03	0,97	0,91
26/09/2020	3,56	1,73	0,65	0,61	0,58
03/10/2020	5,35	2,59	0,97	0,92	0,86
10/10/2020	3,86	1,87	0,70	0,66	0,62
03/11/2020	2,87	1,39	0,52	0,49	0,46
07/11/2020	3,17	1,54	0,58	0,54	0,51
03/12/2020	11,09	5,38	2,02	1,90	1,79
11/12/2020	10,10	4,90	1,84	1,73	1,63
07/01/2021	14,55	7,06	2,65	2,50	2,35
08/01/2021	13,76	6,67	2,50	2,36	2,22
13/01/2021	8,71	4,22	1,58	1,50	1,41
19/01/2021	13,46	6,53	2,45	2,31	2,18
13/02/2021	9,41	4,56	1,71	1,62	1,52
19/02/2021	10,49	5,09	1,91	1,80	1,70
20/03/2021	3,27	1,58	0,59	0,56	0,53
27/03/2021	9,70	4,70	1,76	1,67	1,57
09/04/2021	2,67	1,30	0,49	0,46	0,43
24/04/2021	4,16	2,02	0,76	0,71	0,67
05/05/2021	3,17	1,54	0,58	0,54	0,51
29/05/2021	2,97	1,44	0,54	0,51	0,48
19/06/2021	5,45	2,64	0,99	0,94	0,88
26/06/2021	10,30	4,99	1,87	1,77	1,66
03/07/2021	5,54	2,69	1,01	0,95	0,90
10/07/2021	1,88	0,91	0,34	0,32	0,30
27/07/2021	3,07	1,49	0,56	0,53	0,50
17/08/2021	9,60	4,66	1,75	1,65	1,55
21/08/2021	10,59	5,14	1,93	1,82	1,71
22/08/2021	5,84	2,83	1,06	1,00	0,94
23/08/2021	6,04	2,93	1,10	1,04	0,98
24/08/2021	6,24	3,02	1,13	1,07	1,01
25/08/2021	6,04	2,93	1,10	1,04	0,98
26/08/2021	10,79	5,23	1,96	1,85	1,74
28/08/2021	10,20	4,94	1,85	1,75	1,65
07/09/2021	10,00	4,85	1,82	1,72	1,62
10/09/2021	6,83	3,31	1,24	1,17	1,10
14/09/2021	11,09	5,38	2,02	1,90	1,79

ANEXO E – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T3

Data	T3 - Tanino vegetal + hipoclorito sódio				
	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
04/04/2020	51,48	24,96	9,36	8,84	8,32
18/04/2020	40,59	19,68	7,38	6,97	6,56
25/04/2020	42,57	20,64	7,74	7,31	6,88
02/05/2020	55,44	26,88	10,08	9,52	8,96
06/06/2020	52,47	25,44	9,54	9,01	8,48
07/06/2020	76,23	36,96	13,86	13,09	12,32
08/06/2020	71,28	34,56	12,96	12,24	11,52
11/06/2020	74,25	36,00	13,50	12,75	12,00
12/06/2020	72,27	35,04	13,14	12,41	11,68
20/06/2020	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72
27/06/2020	78,21	37,92	14,22	13,43	12,64
02/07/2020	74,25	36,00	13,50	12,75	12,00
04/07/2020	50,49	24,48	9,18	8,67	8,16
08/07/2020	73,26	35,52	13,32	12,58	11,84
11/07/2020	57,42	27,84	10,44	9,86	9,28
18/07/2020	65,34	31,68	11,88	11,22	10,56
01/08/2020	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72
08/08/2020	38,61	18,72	7,02	6,63	6,24
15/08/2020	69,30	33,60	12,60	11,90	11,20
05/09/2020	48,51	23,52	8,82	8,33	7,84
26/09/2020	48,51	23,52	8,82	8,33	7,84
03/10/2020	52,47	25,44	9,54	9,01	8,48
10/10/2020	50,49	24,48	9,18	8,67	8,16
03/11/2020	55,44	26,88	10,08	9,52	8,96
07/11/2020	38,61	18,72	7,02	6,63	6,24
03/12/2020	75,24	36,48	13,68	12,92	12,16
11/12/2020	70,29	34,08	12,78	12,07	11,36
07/01/2021	72,27	35,04	13,14	12,41	11,68
08/01/2021	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72
13/01/2021	58,41	28,32	10,62	10,03	9,44
19/01/2021	76,23	36,96	13,86	13,09	12,32
13/02/2021	57,42	27,84	10,44	9,86	9,28
19/02/2021	50,49	24,48	9,18	8,67	8,16
20/03/2021	39,60	19,20	7,20	6,80	6,40
27/03/2021	67,32	32,64	12,24	11,56	10,88
09/04/2021	36,63	17,76	6,66	6,29	5,92
24/04/2021	34,65	16,80	6,30	5,95	5,60
05/05/2021	41,58	20,16	7,56	7,14	6,72
29/05/2021	42,57	20,64	7,74	7,31	6,88
19/06/2021	46,53	22,56	8,46	7,99	7,52
26/06/2021	58,41	28,32	10,62	10,03	9,44
03/07/2021	50,49	24,48	9,18	8,67	8,16
10/07/2021	40,59	19,68	7,38	6,97	6,56
27/07/2021	43,56	21,12	7,92	7,48	7,04
17/08/2021	48,51	23,52	8,82	8,33	7,84
21/08/2021	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72
22/08/2021	45,54	22,08	8,28	7,82	7,36
23/08/2021	52,47	25,44	9,54	9,01	8,48
24/08/2021	56,43	27,36	10,26	9,69	9,12
25/08/2021	58,41	28,32	10,62	10,03	9,44
26/08/2021	65,34	31,68	11,88	11,22	10,56
28/08/2021	67,32	32,64	12,24	11,56	10,88
07/09/2021	70,29	34,08	12,78	12,07	11,36
10/09/2021	68,31	33,12	12,42	11,73	11,04
14/09/2021	66,33	32,16	12,06	11,39	10,72

ANEXO F – COMPOSTOS THM IDENTIFICADOS NAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELO TESTE T4

T4 - Tanino vegetal + dióxido cloro					
Data	THM Total (ppb)	Clorofórmio (ppb)	Diclorometano (ppb)	Dibrometano (ppb)	Bromofórmio (ppb)
04/04/2020	0,94	0,46	0,17	0,16	0,15
18/04/2020	1,29	0,62	0,23	0,22	0,21
25/04/2020	1,26	0,61	0,23	0,22	0,20
02/05/2020	1,78	0,86	0,32	0,31	0,29
06/06/2020	1,88	0,91	0,34	0,32	0,30
07/06/2020	3,37	1,63	0,61	0,58	0,54
08/06/2020	2,64	1,28	0,48	0,45	0,43
11/06/2020	3,27	1,58	0,59	0,56	0,53
12/06/2020	2,51	1,22	0,46	0,43	0,41
20/06/2020	2,18	1,06	0,40	0,37	0,35
27/06/2020	4,06	1,97	0,74	0,70	0,66
02/07/2020	3,56	1,73	0,65	0,61	0,58
04/07/2020	1,83	0,89	0,33	0,31	0,30
08/07/2020	2,48	1,20	0,45	0,43	0,40
11/07/2020	1,88	0,91	0,34	0,32	0,30
18/07/2020	2,08	1,01	0,38	0,36	0,34
01/08/2020	2,08	1,01	0,38	0,36	0,34
08/08/2020	0,40	0,19	0,07	0,07	0,06
15/08/2020	2,48	1,20	0,45	0,43	0,40
05/09/2020	1,09	0,53	0,20	0,19	0,18
26/09/2020	0,79	0,38	0,14	0,14	0,13
03/10/2020	1,29	0,62	0,23	0,22	0,21
10/10/2020	0,89	0,43	0,16	0,15	0,14
03/11/2020	1,09	0,53	0,20	0,19	0,18
07/11/2020	0,79	0,38	0,14	0,14	0,13
03/12/2020	2,67	1,30	0,49	0,46	0,43
11/12/2020	2,18	1,06	0,40	0,37	0,35
07/01/2021	3,07	1,49	0,56	0,53	0,50
08/01/2021	2,28	1,10	0,41	0,39	0,37
13/01/2021	1,87	0,91	0,34	0,32	0,30
19/01/2021	2,87	1,39	0,52	0,49	0,46
13/02/2021	1,88	0,91	0,34	0,32	0,30
19/02/2021	0,89	0,43	0,16	0,15	0,14
20/03/2021	1,19	0,58	0,22	0,20	0,19
27/03/2021	2,38	1,15	0,43	0,41	0,38
09/04/2021	0,20	0,10	0,04	0,03	0,03
24/04/2021	0,30	0,14	0,05	0,05	0,05
05/05/2021	0,59	0,29	0,11	0,10	0,10
29/05/2021	0,59	0,29	0,11	0,10	0,10
19/06/2021	0,69	0,34	0,13	0,12	0,11
26/06/2021	0,94	0,46	0,17	0,16	0,15
03/07/2021	0,40	0,19	0,07	0,07	0,06
10/07/2021	0,50	0,24	0,09	0,09	0,08
27/07/2021	0,89	0,43	0,16	0,15	0,14
17/08/2021	0,97	0,47	0,18	0,17	0,16
21/08/2021	1,39	0,67	0,25	0,24	0,22
22/08/2021	0,96	0,47	0,17	0,16	0,16
23/08/2021	1,09	0,53	0,20	0,19	0,18
24/08/2021	1,58	0,77	0,29	0,27	0,26
25/08/2021	1,49	0,72	0,27	0,26	0,24
26/08/2021	1,84	0,89	0,33	0,32	0,30
28/08/2021	2,38	1,15	0,43	0,41	0,38
07/09/2021	2,28	1,10	0,41	0,39	0,37
10/09/2021	2,30	1,11	0,42	0,39	0,37
14/09/2021	2,18	1,06	0,40	0,37	0,35

ANEXO G – RESULTADOS SENSORIAIS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA TRATADA PELOS TESTES T1, T2, T3 E T4

Data	T1		T2		T3		T4	
	Degustador 1	Degustador 2	Degustador 1	Degustador 2	Degustador 1	Degustador 2	Degustador 1	Degustador 2
04/04/2020	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
18/04/2020	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
25/04/2020	NOK - plástico	NOK - plástico	NOK - plástico	OK	OK	NOK - plástico	OK	OK
02/05/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
06/06/2020	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK
07/06/2020	NOK - plástico	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
08/06/2020	NOK - remédio	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK
11/06/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK
12/06/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK
20/06/2020	NOK - plástico	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - remédio	NOK - remédio	OK	OK
27/06/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK
02/07/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK
04/07/2020	NOK - cloro	OK	NOK - plástico	OK	OK	OK	OK	OK
08/07/2020	OK	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK
11/07/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - plástico	NOK - cloro	OK	OK
18/07/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
01/08/2020	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
08/08/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK
15/08/2020	OK	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
05/09/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK
26/09/2020	NOK - cloro	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK
03/10/2020	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
10/10/2020	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
03/11/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
07/11/2020	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK
03/12/2020	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	NOK - cloro
11/12/2020	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	ok	OK	OK
07/01/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
08/01/2021	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	ok	OK	OK
13/01/2021	NOK - remédio	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK
19/01/2021	NOK - medicinal	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro
13/02/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
19/02/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK
20/03/2021	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK
27/03/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK
09/04/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
24/04/2021	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
05/05/2021	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
29/05/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	NOK - cloro	OK	NOK - cloro	OK	OK
19/06/2021	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK
26/06/2021	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK	OK	OK
03/07/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10/07/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
27/07/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17/08/2021	OK	NOK - plástico	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK
21/08/2021	NOK - cloro	NOK - remédio	OK	OK	OK	OK	OK	OK
22/08/2021	NOK - cloro	NOK - plástico	OK	NOK - cloro	OK	OK	OK	OK
23/08/2021	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
24/08/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK
25/08/2021	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro
26/08/2021	NOK - remédio	NOK - cloro	NOK - cloro	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK
28/08/2021	NOK - remédio	NOK - cloro	OK	OK	OK	NOK - cloro	NOK - cloro	NOK - cloro
07/09/2021	NOK - remédio	NOK - plástico	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10/09/2021	OK	OK	OK	OK	OK	NOK - cloro	OK	OK
14/09/2021	NOK - cloro	NOK - remédio	OK	OK	OK	OK	OK	OK

