

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**INGRID RODRIGUES GUIMARÃES SILVA**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO TRATAMENTO DA ÁGUA UTILIZANDO OS  
COAGULANTES TANINO E CLORETO FÉRRICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2019**

INGRID RODRIGUES GUIMARÃES SILVA

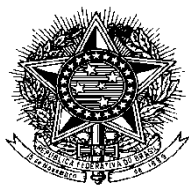
**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO TRATAMENTO DA ÁGUA UTILIZANDO OS  
COAGULANTES TANINO E CLORETO FÉRRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

**LONDRINA**

**2019**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

Avaliação quantitativa do tratamento da água utilizando os coagulantes  
tanino e cloreto férrico

por

Ingrid Rodrigues Guimarães Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 3 de julho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_  
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
(UTFPR)  
Orientadora

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me dado a oportunidade de vivenciar nesse plano. Agradeço a minha família, por todo amor, confiança e incentivo nessa caminhada. Em especial aos meus pais, Nanci e Ivair, pelos exemplos de conduta que nortearam o caminho que escolhi para a minha vida. À minha irmã, tios e tias obrigado pela paciência e apoio ao longo desses anos de graduação.

Agradeço a todas as professoras e professores do Colégio Objetivo, Portinari e da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que se dedicaram ao meu aprendizado, aconselharam-me e ajudaram na minha formação humana e profissional, além de me instigarem a desenvolver meu senso crítico. Agradeço imensamente a minha psicóloga, Jessica, pelas palavras de cura. Agradeço aos amigos da DIRPPG sempre pela acolhida, conversas de incentivo e cafés durante a graduação.

Agradeço a todos os meus amigos de dentro e fora da Universidade, que tanto me ajudaram ao longo desses anos, em especial Glaucia, Marcelo, Barbara, Thiago, Larissa, Diego e Roberta, que compartilharam e me apoiaram em toda trajetória.

Agradeço imensamente a minha orientadora, Dra. Edilaine Regina Pereira, por ter me escolhido e acolhido, pela confiança e paciência, e, principalmente, por todos os ensinamentos proporcionados, tanto profissional quanto pessoalmente.

À amiga Larissa, pelo auxílio nas análises laboratoriais e em todas as dúvidas, ao Adriano, pela ajuda nas análises microbiológicas, e ao professor Joelmir André Borssoi, pela disponibilidade e essencial auxílio nas análises estatísticas, tornando possível a execução deste trabalho, a amiga Mirela pelas pontuações neste trabalho e ao ao amigo Luccas pelo suporte psicológico e de oratória.

Aos professores Maurício Moreira dos Santos e Joseane Debora Peruço Theodoro ficam agradecida pela leitura e correção deste trabalho e por me permitirem aprimorá-lo.

SILVA, I. R. G. **Avaliação quantitativa do tratamento da água utilizando os coagulantes tanino e cloreto férrico**. 2019. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

## RESUMO

Com o intuito de tornar a água bruta em água adequada para o consumo humano, dá-se início um processo convencional que ocorre dentro das estações de tratamento de água (ETAs). Para realizar o tratamento da água no Brasil, comumente são utilizados coagulantes inorgânicos de origem química, constituídos por sais de ferro e alumínio, como o Sulfato de Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), o Sulfato Férrico ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) e o cloreto férrico ( $FeCl_3$ ), porém são detectados vários problemas em função do seu uso. Diversas pesquisas têm sido realizadas no estudo dos coagulantes orgânicos visando a melhoria tanto do tratamento de água para abastecimento humano como dos resíduos gerados durante esse processo. O objetivo deste trabalho foi determinar e comparar as características da água gerada no processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração utilizando tanto o coagulante orgânico tanino quanto o coagulante inorgânico cloreto férrico. Por meio de ensaios com o equipamento Jar-Test seguidos de filtração direta com fluxo descendente utilizando filtros de areia, foram realizados três tratamentos (A1- Aplicação de 100% de tanino; A2- Aplicação de 100% de cloreto férrico; e A3- Aplicação de 50% de tanino + 50% de cloreto férrico). Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica; cor aparente; turbidez; pH; temperatura; coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*). Os resultados obtidos para a condutividade elétrica não apresentaram alteração significativa em nenhum tratamento, bem como o pH, que se manteve dentro dos padrões exigidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde. A temperatura foi o único parâmetro em que houve diferença significativa na interação Coagulante\*Tempo. Com relação à eficiência de remoção, o tanino (A1) removeu após a filtração aproximadamente 98% da cor aparente e 97% da turbidez. O tratamento A2 apresentou eficiência de remoção de aproximadamente 91% para cor aparente e 97% para turbidez; enquanto o tratamento A3 removeu 97% e 96%, respectivamente. Na análise estatística, a interação entre Coagulante\*Tempo não apresentou efeito significativo, indicando que o efeito do tempo não variou significativamente em função dos coagulantes, principalmente para o coagulante orgânico. A demonstração de dados semelhantes entre o tanino e o cloreto férrico torna viável a utilização do coagulante orgânico, visto que, por ele ser de origem natural, não causa efeitos negativos ao meio ambiente e aos seres humanos, tornando-se uma potencial alternativa para o tratamento de água para abastecimento.

Palavras-chave: tanino, cloreto férrico, tratamento de água, potabilidade.

SILVA, I. R. G. **Quantitative Evaluation of the Water Treatment using the Tannin and Ferric Chlorine coagulants**. 2019. 60 p. Graduation in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

### ABSTRACT

In order to make raw water suitable for human consumption, a conventional process that takes place inside water treatment plants is started. Inorganic coagulants of chemical origin, made up of iron and aluminum salts, such as aluminum sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), Ferric sulfate ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) and Ferric Chloride ( $\text{FeCl}_3$ ), however, several problems are detected due to its use. Several studies have been carried out in the study of organic coagulants aiming to improve the treatment of water for the human supply, as well as the residues generated during this process. The objective of this work was to determine and compare the characteristics of the water generated in the coagulation / flocculation / sedimentation / filtration process using both the organic coagulant tannin and the inorganic coagulant Ferric Chloride. The treatments were carried out by means of the Jar-Test equipment followed by direct filtration with downflow using sand filters. Three treatments were performed (A1- Application of 100% Tannin, A2- Application of 100% Ferric Chloride, and A3- Application 50% Tannin + 50% Ferric Chloride). The analyzed parameters were: electrical conductivity; apparent color; turbidity; pH; temperature; total coliforms and *Escherichia coli* (*E. coli*). The obtained results for the electrical conductivity did not present significant alteration in any treatment, as well as the pH, which remained within the standards required by Ordinance nº 5 of 2017 Annex XX of the Ministry of Health. The temperature was the only parameter that was no significant difference in the interaction Coagulant \* Time. Regarding the removal efficiency, tannin (A1) removed after filtration approximately 98% of apparent color and 97% of turbidity. Treatment A2 showed removal efficiency of approximately 91% for apparent color and 97% for turbidity, while A3 treatment removed 97% and 96%, respectively. In the statistical analysis, the interaction between Coagulant \* Time had no significant effect, indicating that the effect of time did not change significantly as a function of coagulants, especially for organic coagulant. The demonstration of similar data between tannin and ferric chloride enables the use of organic coagulant because it is of natural origin, does not cause negative effects to the environment and to humans, becoming a potential alternative for the treatment of water for supply.

Key-words: tannin, ferric chloride, water treatment, potability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Etapas do processo de tratamento de água .....	14
<b>Figura 2</b> - Árvore da Acácia Negra .....	23
<b>Figura 3</b> - Equipamento Jar-Test utilizado neste experimento .....	29
<b>Figura 4</b> - Filtros de areia utilizados.....	30
<b>Figura 5</b> - Cartela e seladora utilizadas na análise de coliformes .....	31
<b>Figura 6</b> - Teste de fluorescência das amostras de E. coli.....	32
<b>Figura 7</b> - Comportamento das médias da condutividade elétrica durante a sedimentação e ao final da filtração .....	35
<b>Figura 8</b> - Média de remoção da cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	37
<b>Figura 9</b> - Comportamento das médias da cor aparente neste experimento.....	38
<b>Figura 10</b> - Média de remoção da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração.....	41
<b>Figura 11</b> - Comportamento das médias dos valores de turbidez neste experimento .....	42
<b>Figura 12</b> - Comportamento das médias do pH durante a sedimentação e ao final da filtração .....	44
<b>Figura 13</b> - Comportamento das médias de Temperatura durante a sedimentação e ao final da filtração .....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Coagulantes utilizados em estações de tratamento convencionais.....	21
<b>Tabela 2</b> - Padrão de Potabilidade da Água .....	26
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia .....	31
<b>Tabela 4</b> - Caracterização da água bruta.....	34
<b>Tabela 5</b> - Variação da condutividade elétrica durante os tempos sedimentação e após a filtração.....	34
<b>Tabela 6</b> - Variação da cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração .....	36
<b>Tabela 7</b> - Resultados da análise de variância para a Cor Aparente.....	39
<b>Tabela 8</b> - Comparação de médias para a Cor Aparente pelo teste de Tukey .....	39
<b>Tabela 9</b> - Variação da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração .....	40
<b>Tabela 10</b> - Resultados da análise de variância para a Turbidez .....	43
<b>Tabela 11</b> - Comparação de médias para a Turbidez .....	43
<b>Tabela 12</b> - Variação do pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração .....	44
<b>Tabela 13</b> - Resultados da análise de variância para o pH .....	45
<b>Tabela 14</b> - Comparação de médias para o pH .....	46
<b>Tabela 15</b> - Variação de temperatura durante os tempos de sedimentação e após a filtração .....	46
<b>Tabela 16</b> - Resultados da análise de variância para a Temperatura .....	48
<b>Tabela 17</b> - Comparação das médias para Temperatura .....	48
<b>Tabela 18</b> - Variação de Coliformes Totais ao final da sedimentação e da filtração.	49
<b>Tabela 19</b> - Variação de E. coli ao final da sedimentação e da filtração .....	50



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
3.1	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	14
3.2	PROCESSOS ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA .....	14
3.2.1	Coagulação .....	15
3.2.2	Floculação .....	16
3.2.3	Decantação ou sedimentação .....	17
3.2.4	Filtração.....	19
3.3	COAGULANTES .....	20
3.3.1	Cloreto férrico .....	21
3.3.2	Tanino .....	22
<b>4.</b>	<b>LEGISLAÇÃO</b> .....	<b>26</b>
4.1	PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO N° 5 DE 2017 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE .....	26
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
5.1	LOCAL DE COLETA .....	28
5.2	AMOSTRAGEM E LOCAL DE ENSAIO .....	28
5.3	PREPARO DAS SOLUÇÕES.....	28
5.4	PRÉ-ENSAIO .....	28
5.5	ENSAIO LABORATORIAL.....	28
5.5.1	Coagulação/Floculação/Sedimentação.....	28
5.5.2	Filtração.....	30
5.6	ANÁLISE DE PARÂMETROS .....	30
5.6.1	Parâmetros analisados .....	30
5.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	32
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
6.1	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	34
6.2	COR APARENTE .....	36

6.3	TURBIDEZ .....	40
6.4	PH .....	43
6.5	TEMPERATURA .....	46
6.6	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA .....	49
6.6.1	Coliformes totais .....	49
6.6.2	<i>E. coli</i> .....	50
7.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>52</b>
8.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>53</b>
9.	<b>ANEXO 1 - TABELA DE NÚMERO MAIS PROVÁVEL DE COLIFORMES TOTAIS E <i>E. COLI</i> ESTIMADOS COM O USO DO MÉTODO COLILERT (FRENTE E VERSO).....</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água pode ser classificada como um dos recursos essenciais para a vida na Terra. Segundo Oliveira et al. (2004), a água é necessária para a sobrevivência dos seres humanos, da fauna e da flora, além ainda de servir como matéria prima no campo econômico e ser utilizada como solvente, fluido de refrigeração, meio de transporte, agente de limpeza, fonte de vapor, entre outros.

Porém, a exploração incorreta da água também deve ser levada cada dia mais em consideração, de modo que a progressiva degradação do recurso pode torná-lo escasso em determinadas regiões (HELLER; PÁDUA, 2010). De acordo com Vanacôr (2005), com a falta de qualidade das águas superficiais e subterrâneas para consumo, faz-se necessária a elaboração de um plano de tratamento satisfatório, melhorando a qualidade da água disponível e tornando-a potável. Com essa finalidade, inicia-se um processo convencional que ocorre dentro das chamadas estações de tratamento de água (ETAs).

Segundo Botero (2008), processo convencional é compreendido pelas operações unitárias de: coagulação, floculação, decantação e filtração para a clarificação da água, seguida da correção do pH, desinfecção e fluoretação.

Os processos de coagulação e floculação caracterizam o início do tratamento químico e influenciam as fases subsequentes (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009). No Brasil, nessa primeira etapa, geralmente são aplicados coagulantes inorgânicos de origem química constituídos por sais de ferro e alumínio, como o sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), o sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) e o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ). Mas diversos problemas são detectados em função do seu uso: no caso de sulfato de alumínio, é gerado um grande volume de lodo contendo o cátion  $\text{Al}^{3+}$ , dificultando sua disposição final e causando efeitos danosos à saúde (LO MONACO et al., 2010); outro dos problemas é a presença de alumínio remanescente na água tratada (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017), aplica-se à água destinada ao consumo humano, e estabelece os padrões de potabilidade e qualidade do sistema de abastecimento de água.

Recentemente, diversos estudos têm sido realizados sobre a utilização de coagulantes orgânicos e inorgânicos visando a melhoria do tratamento de água para abastecimento humano e dos resíduos gerados durante o processo. Entre os principais coagulantes orgânicos estudados, estão a *Moringa oleifera*, tanino vegetal e a Quitosana (LUCYK et al., 2015). Coral, Bergamasco e Bassetti (2009) corrobora que compostos orgânicos, com produção própria e baixo custo financeiro, têm se mostrado eficientes no tratamento de efluentes e águas destinadas ao consumo humano em relação a biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de lodos residuais quando comparados a coagulantes inorgânicos (LO MONACO et al., 2010).

Diante de todos esses fatores, e com intuito de conhecer técnicas alternativas de tratamento de água que não agridam o meio ambiente, o presente trabalho verificará a eficiência do tanino, comparado com o cloreto férrico, nos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração em laboratório através do equipamento Jar Test, analisando e caracterizando a água gerada ao final do processo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar a água e comparar as suas características quando submetida à aplicação de coagulante orgânico (tanino) e de coagulante inorgânico (cloreto férrico), assim como a mistura de ambos através dos processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a porcentagem de eficiência de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, coliformes totais e *E coli*. na água tratada utilizando o coagulante orgânico tanino e o coagulante inorgânico cloreto férrico;
- b) Acompanhar o comportamento dos parâmetros condutividade elétrica, pH e temperatura da água;
- c) Averiguar se os resultados obtidos por meio da utilização do coagulante orgânico e inorgânico estão de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, Anexo XX, de 2017 para a qualidade da água.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

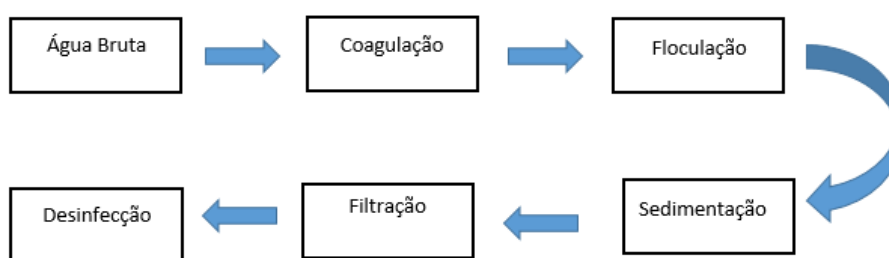
De acordo com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (SANTA CATARINA, 2019), a estação de tratamento de água é talvez a parte mais importante do sistema de abastecimento de água, pois é nesse ambiente que ocorre o tratamento da água captada bruta da natureza. Esse processo tem como única finalidade oferecer uma água que obedeça aos parâmetros de potabilidade definidos para consumo humano (PEREIRA, 2011).

Segundo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE, 2009), o tratamento de água visa atender principalmente às finalidades higiênicas (remoção de bactérias, vírus, protozoários e microrganismos, remoção de substâncias perigosas, diminuição significativa do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos), estéticas (correção da cor, do sabor e do odor da água) e econômicas (redução de corrosividade, da cor, da turbidez, do ferro, do manganês, do sabor e do odor).

#### 3.2 PROCESSOS ENVOLVIDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

A indústria responsável pelo tratamento de água segue em geral o modelo de tratamento convencional, também conhecido como completo. Nesse tipo de tratamento, a água passa pelos processos de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção (EUSTÁQUIO, 2010; PEREIRA, 2011). Cada parte do processo tem características importantes e bem definidas, de modo que o processo total pode perfeitamente ser dividido em etapas, como se vê na Figura 1.

**Figura 1** - Etapas do processo de tratamento de água



Fonte: Adaptada de VANACÔR, 2005.

### 3.2.1 Coagulação

Os colóides são partículas sólidas com espessura de  $10^{-3} \mu\text{m}$  até  $1 \mu\text{m}$  identificados pela presença de cargas elétricas em sua superfície, que atraem uma dupla camada de íons com cargas opostas, e grande potencial elétrico na superfície de cisalhamento (potencial zeta), o qual torna o sistema estável, impedindo a aproximação e agregação entre os colóides (PELEGRINO, 2011).

Assim, após a captação de água, inicia-se o processo de coagulação, que objetiva a desestabilização das forças elétricas de repulsão e atração. Essas forças conectam-se entre as partículas da solução, facilitando o surgimento de coágulos, que se formam por meio da adição do produto coagulante seguida por uma mistura rápida, a fim de homogeneizar a mistura (RICHTER; NETTO, 1991; PAVANELLI, 2001). Ou seja, na coagulação, o agente coagulante adicionado à água reduz as forças repulsivas no meio aquoso, que tendem a manter separadas as superfícies em suspensão, por meio da interação com espécies hidrolisadas que reagem com as mesmas para que possam ser removidas nas próximas etapas (RICHTER; NETTO, 1991). Os coagulantes usados nesse processo são de origem inorgânica. Os mais utilizados são os sais de alumínio ou de ferro (PEREIRA, 2011).

A coagulação ocorre por dois fenômenos químicos e físicos. No primeiro estágio, ocorre a reação do coagulante com a água, resultando na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva relacionadas com a concentração do metal e o potencial hidrogeniônico da mistura em questão. Já o segundo estágio, estritamente físico, compreende o contato entre as impurezas presentes na água e as espécies hidrolisadas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Todo o processo é extremamente rápido, chegando até 100 segundos, dependendo das demais características (temperatura, pH, condutividade elétrica, concentração de impurezas) (BAÚ et. al., 2016).

A dispersão do coagulante na água bruta ocorre nas unidades de mistura rápida, sendo hidráulicas (vertedores, calhas Parshall, injetores e difusores), mecânicas (câmara de mistura ou Backmix) ou especiais (misturadores estáticos e in-line Blenders) (SABOGAL, 2007).

Atualmente, pode-se considerar a coagulação como resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos diferentes: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e adsorção, e formação de pontes (DI

BERNARDO; DANTAS, 2005). Os fatores que influenciam na eficiência do processo são: dosagem do agente coagulante, tempo e gradiente de velocidade de mistura rápida, auxiliares de coagulação, pH do meio, e dispersão do agente na mistura rápida (HELLER; PÁDUA, 2010).

### 3.2.2 Floculação

Terminado o processo de coagulação, inicia-se o processo de floculação, onde, de acordo com Richter e Netto (1991), ocorre o agrupamento das partículas que se encontram eletricamente desestabilizadas. Além disso, os coágulos, através das forças de Van Der Waals (CARDOSO et al., 2008), formam os chamados flocos aos se unirem, que serão acondicionados junto a água e encaminhados aos filtros da ETA ou aos decantadores (flotadores), expandindo o tamanho e peso das partículas (HELLER; PÁDUA, 2010).

As diferenças entre a coagulação e a floculação são o tempo de cada processo e a diferença do valor adotado no gradiente hidráulico. Desse modo, a floculação necessita de um sistema de baixa turbulência, em que a velocidade de agitação seja menor e o tempo de agitação maior, para que se efetive a agregação dos coágulos, possibilitando a formação dos flocos (HELLER; PÁDUA, 2010; FRANCO, 2009).

Os flocos podem se formar de maneira automática apenas pelo choque entre as partículas ou pelo uso de agitadores com velocidade moderada, o que faz com que o contato entre as partículas seja maior, facilitando a formação dos flocos (CARDOSO et al., 2008; COMUSA, 2009). Ressalta-se que esses flocos têm massa específica maior que a massa específica da água. Assim, nessa etapa, ocorre a remoção de cor e turbidez, carga orgânica, organismos patogênicos passíveis de coagulação, eliminação de algumas substâncias que conferem sabor e odor, entre outros (COMUSA, 2009).

As interações entre as impurezas desestabilizadoras e os precipitados de metal ou espécies hidrolisadas se efetivam por conta da ação de três mecanismos distintos: sedimentação diferenciada, interação pericinética e interação ortocinética (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A sedimentação diferenciada decorre da diferença entre as velocidades de decantação dos flocos formados. Assim, o impacto dessa diferença mostra-se no



aumento do tamanho dos flocos, possibilitando o aumento da decantação. Por sua vez, a interação pericinética concede um movimento desordenado às partículas, sendo esse movimento efetivo apenas aos coágulos menores, pois os maiores não tem energia própria suficiente. Já as interações ortocinéticas são mais eficientes por proceder dos choques provocados pelo gradiente de velocidade do meio (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RICHTER; NETTO, 1991).

Nas ETAs, a floculação pode ocorrer de forma hidráulica ou mecânica. A floculação hidráulica tem menor custo de construção e manutenção, e é mais simples de operar. Apesar disso, ela não garante flexibilidade quanto à alteração dos valores de gradientes de velocidade média, o que pode tornar inadequada a sua aplicação em ETAs em que a água bruta apresenta, sazonalmente, grande variação de qualidade (HELLER; PÁDUA, 2010).

Franco (2009) diz que as unidades de floculação são planejadas em função do gradiente de velocidade e do período de detenção, variando de  $20 \text{ s}^{-1}$  a  $90 \text{ s}^{-1}$  para o gradiente de velocidade, e de 20 a 40 minutos para o tempo de detenção. Usualmente as unidades de floculação são classificadas em:

- a) Mecanizadas: composta por motores de rotação de pás ou hélices, com uma velocidade de 1 e 8 rpm;
- b) Não mecanizadas: composta por câmeras verticais e horizontais que permitem a formação de flocos de uma velocidade que varia entre 0,1 e 0,4 m segundo;
- c) Mistas: possuem de 4 a 5 compartimentos em série, onde a velocidade da água pode variar;
- d) Câmaras tipo *Alabama*: nesse tipo de câmara, a água tem dois tipos de movimento, ascendente e descendente.

### 3.2.3 Decantação ou sedimentação

A decantação ou sedimentação é a retirada das partículas da suspensão que se formaram por causa da gravidade na etapa anterior. A remoção desse material é feita por meio dos decantadores, que podem ser convencionais ou de elementos tubulares (BRAGA, 2014).

O processo é explicado por Santos Filho e Rita (2002):

A água entrando num decantador é forçada para o fundo, ao passar sob um septo, e, depois, ascende verticalmente, extravasando no vertedouro de um

canal de descarga, localizado na superfície do tanque. As partículas floculadas decantam, numa direção oposta à da área, e são removidas do fundo por um equipamento mecânico de remoção de lodo (SANTOS FILHO; RITA, 2002, p.16).

Heller e Pádua (2010) comentam que a decantação é uma das técnicas mais antigas de clarificação de água, servindo para água bruta com alta concentração de partículas em suspensão ou de sólidos dissolvidos. O processo ocorre através da ação da força da gravidade, que colabora com a sedimentação das partículas no fundo da unidade antes de as encaminhar aos filtros.

Vieira (2009) ressalta que a eficiência da decantação remete a valores de turvação mínimos na água decantada e a elevadas remoções de partículas de água floculada. Cardoso et al. (2008) ao estudarem o coagulante *Moringa oleifera* Lam observaram que, de forma geral, quanto maior o tempo de sedimentação, maior o valor obtido para a remoção dos parâmetros cor e turbidez. Isso se deve ao fato de que quanto maior o tempo de repouso, maior a quantidade de partículas floculadas que sedimentarão. Os ensaios realizados para um tempo de decantação superior a 60 minutos apresentaram para os valores médios de remoção de cor 82,43% e para turbidez 88,27%%.

Projeta-se as unidades de decantação através da taxa de aplicação superficial, que está interligada à velocidade de sedimentação do material suspenso na água e é calculada dividindo-se a vazão do afluente ao decantador pela sua área em planta (HELLER; PÁDUA, 2010). Os principais tipos de decantadores podem ser quadrados, retangulares ou circulares, tendo ou não raspadores (FRANCO, 2009).

Nesta etapa são removidos os flocos sedimentados que formam uma camada de lodo no fundo dos decantadores. As ETAs removem o lodo manualmente, por jatos de água, ou continuamente, através de raspadores de fundo, dependendo de seu porte. O intervalo de tempo utilizado para decantadores sem remoção contínua de lodo varia de 20 dias a 3 meses, sendo realizada em bateladas.

De acordo com Reali (1999), o decantador deve possuir tubulações e acessórios que retirem o lodo em intervalos de tempo sistematizados, sem que haja a interrupção do tratamento. Já a limpeza manual ocorre através da constatação de que os tanques se encontram com quantidade excessiva de resíduos, em um período de 30 a 60 dias, e podem interferir na etapa de filtração (BOTERO, 2008).

Franco (2009) comenta que, para atingir a estabilidade na formação dos flocos, os decantadores são construídos para evitar turbulências, preservando as condições hidráulicas ideais no tempo de mistura lenta.

#### 3.2.4 Filtração

O processo de filtração acontece com o intuito de remover as partículas suspensas e coloidais, e os microrganismos presentes na água, responsáveis pela cor e turbidez. Esse processo pode ser considerado um dos responsáveis pelo cumprimento dos padrões de potabilidade da água indicados pela Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 5 de 2017, Anexo XX. Os principais tipos de tratamento são filtração lenta ou rápida (PEREIRA, 2011; UNICAMP, 2019). Independentemente da condição da filtração, existe a necessidade, após um tempo de funcionamento, de fazer a lavagem do filtro. A lavagem é realizada pela introdução da água no sentido ascensional, com velocidade suficiente para liberar as impurezas retidas (MONDARDO, 2004).

O sistema de filtração lenta é recomendado para águas de baixa turbidez. Nessa situação, utiliza-se processo biológico, sem a necessidade de produtos químicos e equipamentos sofisticados, porém com a necessidade de maior espaço físico, o que pode dificultar sua utilização em áreas mais povoadas (FRANCO, 2009; HELLER; PÁDUA, 2010). O filtro lento é basicamente um tanque com uma camada de areia de espessura de 0,9 m e 1,20 m sobre uma camada de pedregulho com 0,20 m e 0,45 m de espessura, e por final um sistema de drenagem para retirar a água filtrada (HELLER; PÁDUA, 2010).

Heller e Pádua (2010) reforçam a predominância do mecanismo de interceptação no início da filtração, o que facilita a remoção de partículas maiores que os vazios intergranulares, favorecendo a formação da camada biológica no topo do meio filtrante. Essa camada é formada por partículas inertes, matéria orgânica e vários tipos de micro-organismos, além de precipitado de metais.

Em contrapartida, o filtro mais utilizado para remoção de partículas é o de areia rápido por gravidade. Ele consiste em camadas de areia e brita revestidas por uma estrutura de concreto com aproximadamente 2,70 m perpassadas com drenos que regularizam o fluxo de água filtrada pelas camadas ao longo do filtro (FRANCO, 2009).

Ressalta-se que a eficiência da filtração influi na desinfecção, pelo processo ser agente da remoção de partículas que se interconectam com a presença de organismos patogênicos (EUSTÁQUIO, 2010).

### 3.3 COAGULANTES

O primeiro ponto a se atentar no processo de tratamento de água é o tipo de coagulante, lembrando que essa escolha, segundo Trevisan (2014), é essencial para o sucesso da etapa de coagulação. Também cabe ressaltar que a tecnologia empregada no tratamento, o custo de manutenção da estação, o custo dos coagulantes e os demais produtos envolvidos no processo de tratamento de água são importantes para a escolha do coagulante (FRANCO, 2009; SCALIZE, 2003). Em geral, o coagulante é o produto químico que é adicionado à água a fim de desestabilizar as partículas coloidais para que haja a formação do floco (FRANCO, 2009).

Libânio et al. (1997) afirma que o processo de coagulação pode sofrer interferência de diversos fatores.

Dentre os principais fatores intervenientes destacam-se o pH e a alcalinidade da água bruta, a natureza das partículas coloidais, o tamanho das partículas causadoras da turbidez, a adequação do coagulante à água bruta e a uniformidade da dispersão dos produtos químicos. Em menor grau podem também ser arrolados a concentração e a idade da solução de coagulante, a temperatura e, para o mecanismo de adsorção, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação da mistura rápida (LIBÂNIO et al., 1997, p.1).

Netto (1987) comenta que as dosagens dos coagulantes podem ser determinadas por testes laboratoriais, como o *Jar-Test*, nos quais é avaliada a eficiência de remoção dos resíduos gerados.

Os coagulantes são de dois tipos: orgânico ou inorgânico. Dentre os inorgânicos, destacam-se os sais de alumínio (sulfato de alumínio) e ferro (sulfato férrico e cloreto férrico), por serem os mais difundidos e formarem íons de alta valência. Através da Lei de Schulze-Hardy, sabe-se que a efetividade da coagulação está ligada à carga do eletrólito. Um íon divalente é de 30 a 60 vezes mais efetivo, e um íon trivalente é de 700 a 1000 vezes mais efetivo, que um íon monovalente (GEWEHR, 2012).

Segundo Gavino (2016) os coagulantes orgânicos são polímeros formados por cadeias de pequenas subunidades ou monômeros. O número total de

subunidades do polímero pode variar, com diferentes pesos moleculares e densidades de carga.

### 3.3.1 Cloreto férrico

No Brasil, o sistema convencional de tratamento de água utiliza basicamente os coagulantes de origem inorgânica e, de acordo com Coral, Bergamasco e Bassetti (2009), tem em sua composição sais de ferro e alumínio. Os mais utilizados são os sulfatos de alumínio, sulfato férrico e o cloreto férrico. A Tabela 1 apresenta dados sobre esses três produtos inorgânicos.

**Tabela 1** - Coagulantes utilizados em estações de tratamento convencionais.

Nome comercial	Composição típica	Dosagens usuais aplicadas em estações de tratamento (mg/L)	Massa específica (Kg/ m <sup>3</sup> )	Disponibilidade
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto Férrico	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	5 a 40	1425	Sólido ou Líquido
Sulfato Férrico	$FeSO_4 \cdot 9 H_2O$	5 a 40	1530 a 1600	Sólido ou Líquido

Fonte: TREVISAN (2014)<sup>1</sup> apud Di Bernardo e Dantas (2005).

Para decidir qual coagulante é melhor, deve-se levar em consideração que, para um resultado eficiente, é importante contabilizar o custo global dos produtos inorgânicos que farão parte do processo de coagulação, saber qual coagulante químico irá suprir as suas necessidades e ainda calcular o volume de lodo que cada opção irá gerar (LIBÂNIO, 1997).

<sup>2</sup> TREVISAN, T.S. **Coagulante tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

O composto inorgânico cloreto férrico é formado a partir da interação do ácido clorídrico concentrado com o minério de ferro (hematita –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) seguido do processo de resfriamento e filtração (PAVANELLI, 2001). Também conhecido como pericloreto de ferro, tricloreto férrico e ferro III cloreto, o cloreto férrico tem como fórmula química  $\text{FeCl}_3$ , é considerado perigoso e corrosivo, e atuando na água como foco do desequilíbrio do pH, faz com que a água apresente características ácidas e acrescida de íons cloreto de ferro (FISPQ, 2010).

No processo de tratamento de água, o cloreto férrico atua de modo a diminuir a turbidez e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Ele ainda atua eliminando o fosfato e alguns metais pesados, como o mercúrio e o chumbo (PAVANELLI, 2001). Segundo Franco (2009), o produto químico cloreto férrico é comercializado tanto na forma líquida como na sólida, e esclarece como funciona processo de adição do cloreto férrico na água a ser tratada.

Quando adicionado à água a ser tratada ocorre à hidrólise do cloreto férrico, logo os complexos de ferro formados adquirem cargas positivas. A agregação das partículas presentes na água tratada que resultam na floculação são resultantes da neutralização das cargas negativas dos sólidos da água pelos complexos de ferro dotados de carga positiva (FRANCO, 2009, p.24).

Utilizando o cloreto férrico, segundo Franco (2009), é possível dizer que o processo de floculação posterior à coagulação pode ser desencadeado pelo resultado da reação entre o cloreto férrico e a alcalinidades do bicarbonato, alcalinidade que está presente nos resíduos encontrados na água.

Bresaola (1993) comenta que o precipitado de ferro pode provocar o desenvolvimento de massas gelatinosas de ferrobactérias no interior de tubulações, causando redução da seção útil das mesmas, além de provocar o incremento de cor, sabor e turbidez.

### 3.3.2 Tanino

O tanino é um composto orgânico vegetal que contém em sua estrutura química polifenóis, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais. São solúveis em água e muito reativos quimicamente, formam pontes de hidrogênio, intra e intermoleculares. Os taninos, segundo a estrutura química, são classificados em dois grupos: hidrolisáveis e condensados. Pode ser extraído da *Acacia mearnsii* de Wildemann, ou acácia negra, planta de origem australiana observada na Figura 2.

**Figura 2** - Árvore da Acácia Negra



Fonte: FOELKEL (2008).

Os extratos de tanino ficam principalmente nas cascas e podem ser adquiridos na natureza ou sob a forma aquosa, levados ao estado seco. A Acácia Negra é a terceira espécie mais cultivada no Brasil, sendo plantada para fins comerciais no Rio Grande do Sul (MONTEIRO et al.,2005; MANGRICH et al., 2014; DA SILVA,1999; HIGA et al.,2009; PELEGRINO, 2011).

A extração de tanino pode ser feita por meio de solventes, tais como água, acetona e etanol, ou por soluções aquosas, com alguns sais como sulfito de sódio, carbonato de sódio, entre outros, sendo a afinidade definida de acordo com as organizações moleculares espelhadas pelas classes. O composto pode ser utilizado para: curtimento de pele, produção de resinas, corantes, adesivos para madeira e derivados, indústria farmacêutica, floculante de certos minerais e como purificadores da gasolina.

Pode-se dizer que os coagulantes naturais desempenham um papel de adsorver as partículas que se encontram em torno deles, ou seja, eles atraem essas partículas, formando flocos que se sedimentarão pela ação da gravidade, dando

origem aos lodos (YAMAGUCHI, 2012). Lembrando que, em comparação com os coagulantes inorgânicos, os coagulantes orgânicos têm a vantagem de serem biodegradáveis e não apresentarem toxicidade, além de produzirem uma quantidade menor de lodo sem sais metálicos, auxiliando em seu tratamento e disposição final (KAWAMURA,1991).

Segundo Vanacôr (2005), quando se opta por usar um coagulante orgânico, automaticamente a carga orgânica do efluente da ETA acaba por aumentar, porém os teores de metais que estarão presentes no lodo serão reduzidos.

O tanino é essencialmente um produto natural usado como coagulante para o tratamento de água. Segundo o fabricante Tanac (2016), pode ser considerado um polímero orgânico catiônico de baixo peso molecular. O tanino atua como um coagulante e floculante, e auxilia a coagulação no tratamento de água. É produzido pela Tanac S.A. a partir da Acácia Negra e atua de maneira a neutralizar cargas, facilitando a formação de pontes entre as partículas e originando, assim, os flocos que posteriormente serão sedimentados. Além disso, devido a sua composição orgânica, pode ser biologicamente degradado ou eliminado termicamente (SOUZA, 2015).

Outras vantagens relacionadas ao uso de taninos no processo de coagulação são: a propriedade de adsorção dos metais dissolvidos na água, aglutinando-os por precipitação no meio, facilitando assim a sua remoção; e a eliminação ou redução da toxidez existente na água oriunda de fontes contendo cianofíceas ou bactérias clorofiladas (DA SILVA, 1999). As vantagens da aplicação de polímeros sintéticos e naturais (amidos em geral) podem ser sintetizadas da seguinte forma: no processo de coagulação, há redução da dosagem de coagulante primário (sal de alumínio ou ferro); no processo de floculação, há aumento da velocidade de sedimentação dos flocos, redução das forças de cisalhamento nos flocos durante o escoamento da água floculada e diminuição da dosagem de coagulante primário; e, no processo de filtração, ocorre a redução da possibilidade de transpasse dos flocos pelo filtro, permitindo a utilização de taxas de filtração maiores (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

O tanino não modifica o pH da água tratada por não consumir alcalinidade do meio, sendo efetivo em uma faixa de pH de 4,5 – 8,0 (DA SILVA, 1999). Fernandes et al. (2015) estudaram a aplicação de tanino como coagulante no reuso da água de



lavagem de automóveis e a utilização do lodo na agricultura, e observaram uma eficiência de remoção da ordem de 90% e uma remoção de 124,22% para o parâmetro de turbidez.

No ensaio sobre potencial de aplicação do tanino como coagulante para o tratamento da água obtida no rio Tubarão, de autoria de SKORONSKI et al. (2014), constatou-se que o consumo de alcalinidade variou entre 10,8% e 37,5%, e os valores de pH permaneceram, em todas as faixas de concentração de coagulante, dentro do limite estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 2017, Anexo XX (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017).

Martini (2013) ensaiou a tratabilidade da água pluvial coletada no município de Rio Claro, São Paulo, comparando três coagulantes: tanino vegetal, amido de milho e cloreto férrico. Os ensaios preliminares indicaram que o tanino vegetal na concentração 3% (m/m) apresentou o melhor conjunto de resultados (84,3% de remoção da cor aparente e 82,5% de remoção da turbidez) quando comparado ao cloreto férrico (66,25% de eficiência de remoção de cor aparente e 67,8% para a turbidez) e ao amido (73,7% de eficiência de remoção de cor aparente e 67,2% para turbidez).

## 4. LEGISLAÇÃO

### 4.1 PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5 DE 2017 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE

Dentre os padrões de qualidade das águas existentes, está o padrão de utilização estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017). De acordo com essa portaria, o próprio sistema de abastecimento é responsável por controlar a qualidade da água em todos os processos operacionais (captação, adução, tratamento, reservação e distribuição). Além disso, compete ao sistema também garantir que todos os profissionais envolvidos, tanto no fornecimento quanto no controle da qualidade da água a ser consumida, sejam capacitados e atualizados.

É através da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 que são definidos a frequência de coletas de amostras de água e os valores máximos permitidos para cada parâmetro característico da água potável, conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2** - Padrão de Potabilidade da Água- Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, Anexo XX

Parâmetros	Valores Máximos
Coliformes fecais	Ausência em 100 mL
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Condutividade elétrica	Não se aplica
Cor aparente	15 uH
pH	6,0 a 9,5
Temperatura	Não se aplica
Turbidez	0,5 uT

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017.

ANEXO 2 DO ANEXO XX  
TABELA DE PADRÃO DE TURBIDEZ PARA ÁGUA PÓS-FILTRAÇÃO OU PRÉ-DESINFECÇÃO (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Anexo 2)

Tratamento da água

VMP(1)

Desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT(2) em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5(3)uT(2) em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0(3)uT(2) em 95% das amostras

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido.

(2) Unidade de Turbidez.

(3) Este valor deve atender ao padrão de turbidez de acordo com o especificado no § 2º do art. 30.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 LOCAL DE COLETA

A água empregada para este estudo foi retirada do Ribeirão Jacutinga, um corpo hídrico que perpassa as cidades de Londrina, Cambé e Ibiporã, no Paraná, possui extensão de 55,84 km (LONDRINA, 2018). O corpo d'água é considerado de Classe II segundo a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

### 5.2 AMOSTRAGEM E LOCAL DE ENSAIO

As amostras de água foram coletadas e armazenadas em dois galões de 50 litros para execução das análises experimentais no Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Londrina.

### 5.3 PREPARO DAS SOLUÇÕES

Para prosseguir com o experimento, foi indispensável o preparo da solução coagulante. Para a diluição do ativo do cloreto férrico e do tanino a serem utilizados, foi necessário 1 g do coagulante em 1 L de água destilada (TREVISAN, 2014).

### 5.4 PRÉ-ENSAIO

A fim de se determinar as melhores concentrações dos coagulantes, foi realizado um pré-ensaio com a utilização de béqueres contendo 100 mL da amostra de água cada. Foram inseridas diferentes dosagens de coagulantes com o intuito de verificar qual deles apresentou a formação de forma mais eficiente do processo de coagulação/floculação. Assim, foi escolhida a concentração de 3 mg.L<sup>-1</sup> para cada coagulante aplicado nos ensaios.

### 5.5 ENSAIO LABORATORIAL

#### 5.5.1 Coagulação/Floculação/Sedimentação

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram conduzidos utilizando o equipamento de reatores estáticos chamado *Jar-Test*, da marca Nova Ética, modelo 218 – LDB/06. Comumente conhecido como “teste de jarros” ou apenas *Jar-Test*, o equipamento simula as mesmas etapas que ocorrem em uma

estação de tratamento de água, possibilitando controlar a velocidade de agitação, o tempo de mistura e o tempo de sedimentação do lodo. O aparelho é montado com seis jarros de acrílico de dois litros com pás rotativas para controlar a velocidade de agitação (Figura 3).

**Figura 3** - Equipamento *Jar-Test* utilizado neste experimento



Fonte: Autoria própria, 2019.

Os tratamentos envolvidos neste ensaio foram: Tratamento 1: A1 (aplicação do tanino 100%); Tratamento 2: A2 (aplicação do cloreto férrico 100%); Tratamento 3: A3 (aplicação do cloreto férrico 50% + tanino 50%). Assim o ensaio foi realizado em triplicata.

A concentração dos coagulantes foi definida no pré-ensaio. No caso de A3, houve a aplicação de 50% para cada coagulante. O tempo de mistura e rotação das pás foi adaptado de Theodoro (2012), no qual, para o processo de coagulação (mistura rápida), o tempo de mistura foi de 3 minutos e velocidade de rotação de 150 rpm. No processo de floculação (mistura lenta), o tempo foi de 10 minutos e velocidade de rotação de 15 rpm. Após esse tempo, o equipamento foi desligado, a fim de iniciar o processo de sedimentação. Após 3 minutos, iniciaram-se as coletas,

feitas de 10 em 10 minutos, contabilizando 4 coletas no total, que foram utilizadas para análise dos parâmetros.

### 5.5.2 Filtração

Para o processo de filtração, foram utilizados 6 filtros de areia dispostos em paralelo e adaptados logo abaixo do *Jar-Test*, de forma que a água saísse diretamente do jarro para os filtros após os 33 minutos de sedimentação, simulando uma filtração direta com fluxo descendente. A granulometria dos filtros foi adaptada de Pereira et. al (2019), sendo a faixa escolhida para este experimento de 0,850 mm a 1,70 mm de areia como mostra a Figura 4.

**Figura 4** - Filtros de areia utilizados



Fonte: Autoria própria, 2019.

A vazão da água foi monitorada durante todo o processo. Quando se fazia necessário, o monitoramento foi feito através da barra coletora na saída do *Jar-Test*, para garantir que a taxa de filtração permanecesse constante ao longo do tempo.

## 5.6 ANÁLISE DE PARÂMETROS

### 5.6.1 Parâmetros analisados

Para todas as amostras de cada coagulante, foram analisados os parâmetros físico/químicos: temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica e pH. As

análises foram efetuadas conforme os procedimentos descritos pelo Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3** - Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro HACH 4000	2030 B
pH	pHmetro mPA – 210	4500 B
Temperatura	Termômetro digital	-
Coliformes totais e <i>E coli</i>	Cartela Quanti-Tray e seladora própria da marca IDEXX Quanti-Tray	Substrato Colilert

Fonte: APHA, 2012. IDEXX, 2017.

A análise dos coliformes totais e *E. coli* foi realizada através do Sistema de Substratos Definidos Cromogênicos, utilizando o substrato Colilert (IDEXX, 2017). As amostras de água para análise foram coletadas ao final da sedimentação (T4) e após o processo de filtração (T5), onde cada amostra recebeu o substrato e, após homogeneizadas, foram transferidas para uma cartela Quanti-Tray e seladas em uma seladora própria da marca IDEXX Quanti-Tray (Figura 5).

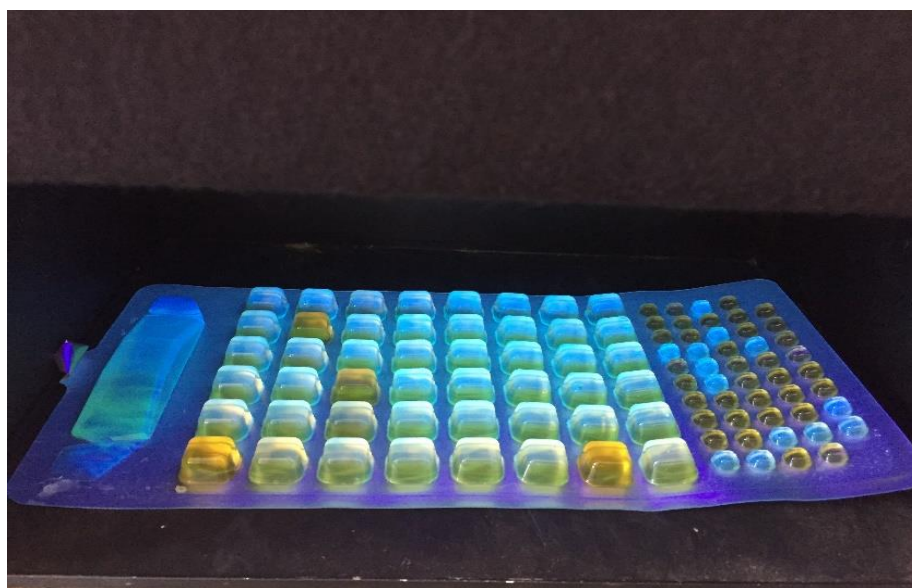
**Figura 5** - Cartela e seladora utilizadas na análise de coliformes



Fonte: Autoria própria, 2019.

Após isso, as cartelas foram para uma estufa e permaneceram a uma temperatura de 35°C por 24 horas. Os resultados de coliformes totais ocasionalmente presentes nas amostras foram observados por meio da coloração amarela apresentada após a incubação. Já os *E. coli* foram observados através do número de células na cartela que apresentaram fluorescência após serem submetidas à iluminação ultravioleta, como mostra a Figura 6. Os números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e *E. coli* foram estimados de acordo com a tabela do fabricante associada ao teste (Anexo 1).

**Figura 6** - Teste de fluorescência das amostras de *E. coli*



Fonte: Autoria própria, 2019.

## 5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o planejamento dos ensaios e coleta dos dados, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com repetições. Foram considerados os três princípios da experimentação: repetição, casualização e formação de bloco. No presente estudo, foi considerado o efeito dos fatores Coagulante e Tempo, bem como da interação entre eles.

Quando há interação entre os tratamentos e blocos, o modelo estatístico será dado pela equação:

$$Y_{ijl} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + \varepsilon_{ijl}, \text{ para } i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, b \text{ e } l = 1, \dots, r,$$

Em que:



$Y_{ijl}$ : variável resposta coletada sobre o  $i$ -ésimo nível do Coagulante no Tempo  $j$  e na  $l$ -ésima repetição;

$\mu$ : média global comum a todas as observações;

$T_i$ : efeito do  $i$ -ésimo nível do fator, ou seja, efeito Coagulante;

$B_j$ : efeito do  $j$ -ésimo bloco, ou seja, efeito do Tempo;

$TB_{ij}$ : efeito da interação entre Coagulante e Tempo

$\varepsilon_{ijl}$ : componente do erro aleatório associado à observação.

As suposições associadas a esse modelo são de que os erros  $\varepsilon_{ijl}$  são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas, tendo distribuição normal com média zero e variância constante. Nos casos em que não há normalidade dos erros, pode-se aplicar uma transformação de dados. Quando não há interação entre os tratamentos e blocos, o modelo é considerado aditivo, ou seja, os coagulantes têm o mesmo efeito em todos os tempos.

Para realizar a comparação dos resultados, foi utilizada a técnica da Análise de Variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey, com 95% de confiança. Assim, as diferenças são consideradas significativas se  $p$ -valor  $< 0,05$ . As análises foram realizadas usando o programa estatístico R (R Core Team, 2017) e o pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2014).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da água bruta utilizada no desenvolvimento do trabalho está descrita na Tabela 4.

**Tabela 4** - Caracterização da água bruta

Parâmetro	Valor
Condutividade elétrica (mS.cm <sup>-1</sup> )	0,17
Cor aparente (mg PtCo.L <sup>-1</sup> )	33,2
Turbidez (NTU)	221
Ph	6,22
Temperatura (°C)	20,9
Coliformes totais (NMP)	>2419,6
<i>E. coli</i> (NMP)	178,9

Fonte: Autoria própria, 2019.

### 6.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 5 mostra os valores de condutividade elétrica para cada amostra e a Figura 7 apresenta o comportamento do parâmetro para o ensaio realizado.

**Tabela 5** - Variação da condutividade elétrica durante os tempos sedimentação e após a filtração

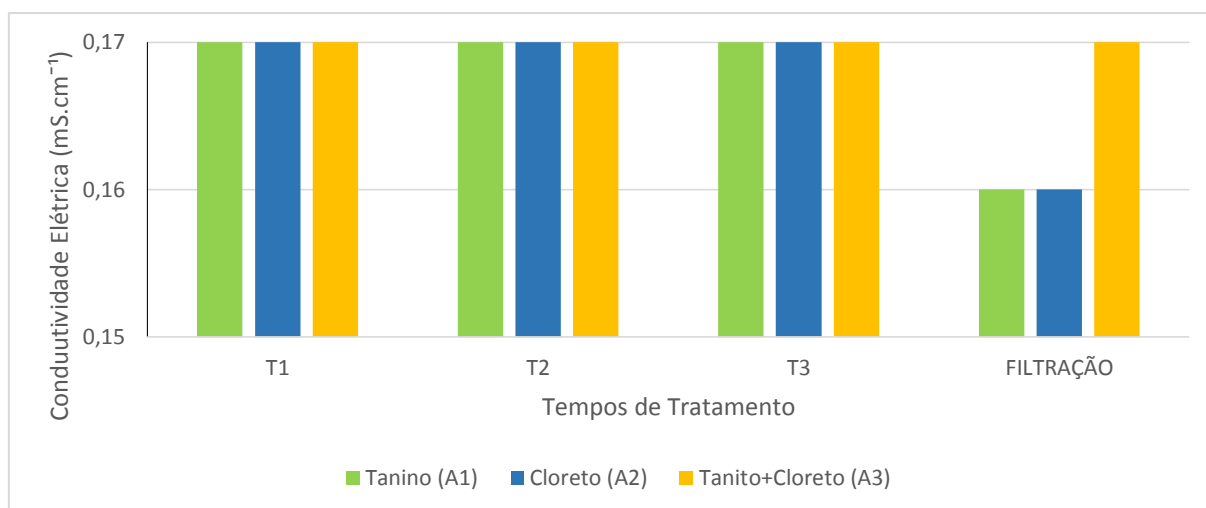
Tratamento	Amostras	R1	R2	R3
<b>A1</b>	T1	0,17	0,17	0,17
	T2	0,17	0,17	0,17
	T3	0,17	0,17	0,17
	FILT	0,14	0,19	0,16
<b>A2</b>	C1	0,17	0,17	0,17
	C2	0,17	0,17	0,17
	C3	0,17	0,17	0,17
	FILT	0,17	0,15	0,16
<b>A3</b>	T+C1	0,17	0,17	0,17
	T+C2	0,17	0,17	0,17
	T+C3	0,17	0,17	0,17

FILT                      0,17                      0,17                      0,17

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos.

Fonte: Autoria própria, 2019.

**Figura 7** - Comportamento das médias da condutividade elétrica durante a sedimentação e ao final da filtração



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 7 mostra o comportamento das médias da condutividade elétrica. A Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (2017) não estabelece valores máximos ou mínimos para esse parâmetro. No entanto, pode-se observar que os valores de condutividade elétrica nos tempos de sedimentação não apresentaram alteração significativa ao valor bruto de 0,17 mS.cm<sup>-1</sup>. Após a filtração nos tratamentos A1 (tanino) e A2 (cloreto férrico), houve uma ligeira diminuição nos valores, o que pode ser explicado pela retenção de sais das soluções através do filtro de areia, caso este não ocorrido quando se utiliza a mistura dos coagulantes.

Skoronski et al. (2014) avaliou o potencial de aplicação do tanino como coagulante para o tratamento da água para abastecimento obtida no rio Tubarão, na cidade de Tubarão (Santa Catarina). Com o estudo, chegou à conclusão de que a adição de tanino nas condições determinadas (até 10 mg L<sup>-1</sup>), não alteram a condutividade do meio, que neste trabalho se situaram entre 49 a 81 µS cm<sup>-1</sup>.

No caso da mistura dos dois coagulantes (A3), a condutividade elétrica manteve-se sem variação durante a sedimentação e, após a filtração, com

resultados equivalentes ao valor da água bruta. Os fatores que influenciaram esses resultados são os mesmos citados com o uso individual de cada coagulante.

## 6.2 COR APARENTE

A Tabela 6 mostra a variação dos valores de cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração. A Figura 8 apresenta a eficiência de remoção do parâmetro.

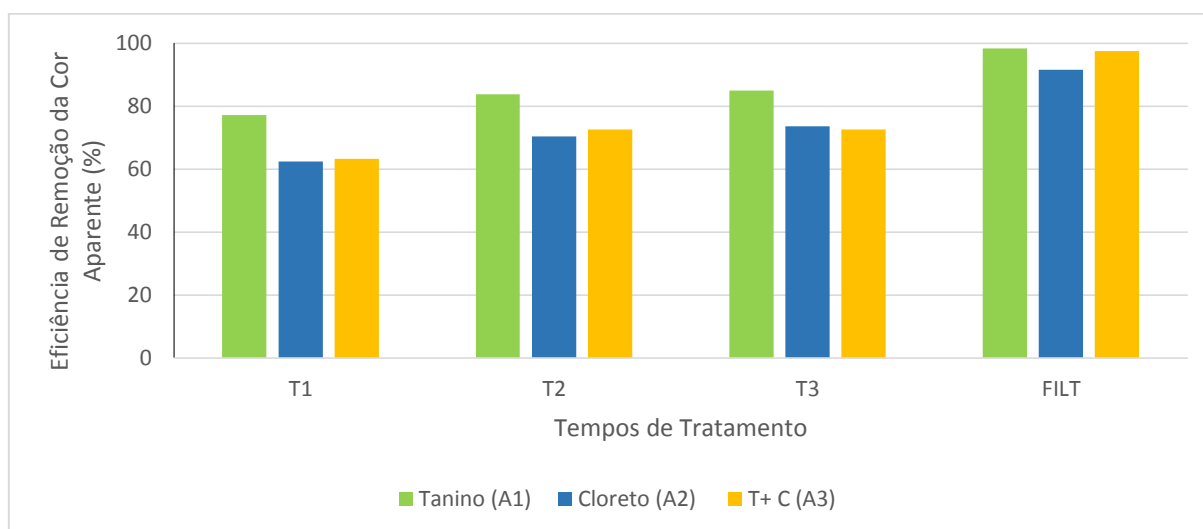
**Tabela 6** - Variação do parâmetro cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração

Aplicação	Amostras	R1	R2	R3
<b>A1</b>	T1	82	75	70
	T2	57	49	56
	T3	51	51	48
	FILT	9	23	34
<b>A2</b>	C1	114	122	138
	C2	88	98	110
	C3	89	86	89
	FILT	26	16	6,4
<b>A3</b>	T+C1	117	111	138
	T+C2	105	80	89
	T+C3	101	85	87
	FILT	26	28	35

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos.

Fonte: Autoria própria, 2019

**Figura 8** - Média de remoção da cor aparente durante os tempos de sedimentação e após a filtração



Fonte: Autoria própria, 2019.

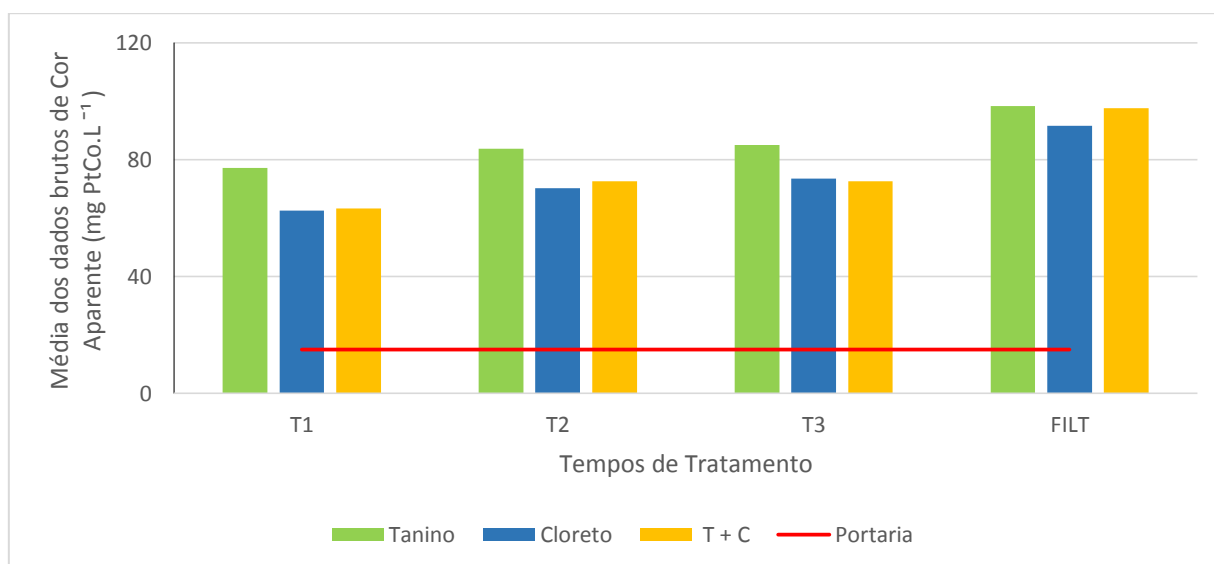
Observou-se, na Tabela 5, que a média de cor aparente durante os tempos de sedimentação na aplicação do tratamento A1 foi de 59,88 uH, do A2 foi de 103,67 uH; e do A3 foi de 101,44 uH. As médias mostraram que a faixa de alteração de cor aparente fez-se mais presente no coagulante tanino e, em seguida, na mistura do tanino e cloreto férrico. Após a filtração os valores das médias foram, para o tratamento A1, de 22,00 uH; A2 de 16,30 uH; e A3 de 29,66 uH. Assim, o valor que obteve melhores resultados foi o tratamento A2, seguido do A1 e do A3.

De acordo com a Figura 8, pode-se constatar que os maiores índices de remoção de cor aparente ocorreram após a etapa de filtração, com médias de 98,24% para A1; 91,47% para A2; e no caso do tratamento A3, de 97,48%. A Portaria de Consolidação nº 5/2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (2017) estabelece valor máximo para cor aparente de 15 uH. As unidades uH e mg PtCo.L<sup>-1</sup> são equivalentes, dessa forma, nenhuma amostra ou média atingiu o padrão estabelecido.

Higashi et al. (2016) avaliou a eficiência do coagulante químico cloreto férrico e do orgânico *Moringa oleifera* no tratamento simples da água em sistemas lânticos. O coagulante inorgânico demonstrou maior remoção de cor aparente, com valores em torno de 95%, enquanto o coagulante orgânico a base da semente da *Moringa oleifera* apresentou remoções próximas de 85%. Os valores diferem dos deste estudo, no qual o coagulante orgânico obteve melhores resultados.

Observa-se que, com a passagem do tempo, os valores de eficiência de remoção do parâmetro cor aparente aumentam, indo de acordo com Ioshimura (2016). Isso se deve ao fato de o processo de sedimentação se tornar mais eficiente com o aumento do tempo de repouso. A Figura 9 mostra o comportamento das médias dos valores de cor aparente em comparação com o valor permitido pela legislação.

**Figura 9** - Comportamento das médias do parâmetro cor aparente.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, estabelece valor máximo para cor aparente de 15 uH, entretanto nenhum dos tratamentos atingiram o padrão definido. Porém, percebe-se a necessidade do processo de filtração a fim de que tal valor possa estar mais próximo do ideal, tendo os valores de filtração atingido 22 mg PtCo.L<sup>-1</sup> para A1; 16,13 mg PtCo.L<sup>-1</sup> para o A2; e 29,66 mg PtCo.L<sup>-1</sup> para o tratamento A3. Como não foi realizado o processo de desinfecção, tal fato já era esperado, uma vez que a legislação aborda o tratamento completo da água em todos os seus processos. Na Tabela 7 estão dispostos os valores obtidos para a análise de variância desse parâmetro.

**Tabela 7** - Resultados da análise de variância para a Cor Aparente

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	9147	4573.5	16.5941	0.00003
Tempo	3	25969	8656.3	31.4078	0.00000
Coagulante*Tempo	6	2495	415.9	1.5089	0.21774
Resíduo	24	6615	275.6	-	-
Total	35	44226	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

A partir dos dados da Tabela 7, nota-se que a interação entre Coagulante \*Tempo não foi significativa, apresentando p-valor maior que 5%. Sendo assim, foram avaliados os efeitos do Coagulante e do Tempo isoladamente. Porém, como o objeto de interesse do estudo é a comparação entre os coagulantes (Tabela 8), a tabela de comparação de médias para o Tempo não será apresentada.

**Tabela 8** - Comparação de médias para a Cor Aparente pelo teste de Tukey

Coagulante	Média
Tanino (A1)	50.41667 b
Cloreto Férrico (A2)	84.91667 a
Tanino+ Cloreto Férrico (A3)	83. 50000 a

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais a 5% de significância.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando a Tabela 8, é possível observar que, considerando um nível de a 5% de significância, a média da cor aparente do tanino é estatisticamente menor quando comparado aos demais coagulantes, apresentando maior eficiência de remoção do parâmetro. Já o desempenho dos tratamentos A2 e A3 é considerado estatisticamente igual, ou seja, a um nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias desses coagulantes. Portanto, pensando no uso em larga escala, qualquer um deles pode ser utilizado sem que haja alteração na cor aparente.

### 6.3 TURBIDEZ

A Tabela 9 mostra a variação dos valores de turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 9 apresenta a eficiência de remoção do mesmo.

**Tabela 9** - Variação da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração

Aplicação	Amostras	R1	R2	R3
<b>A1</b>	T 1	39,7	31,9	25,4
	T 2	19,2	17,1	17,2
	T 3	17,2	14,5	15,8
	FILT	3,99	6,13	15,8
<b>A2</b>	C 1	51,9	62,3	56,6
	C 2	36,6	42,1	39,8
	C 3	32,3	27,3	38,2
	FILT	5,03	5,75	8,77
<b>A3</b>	T+C 1	68	68,8	56,8
	T+C 2	39,9	40,6	38,9
	T+C 3	35,4	34	37,8
	FILT	8,25	8,13	8,67

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos.

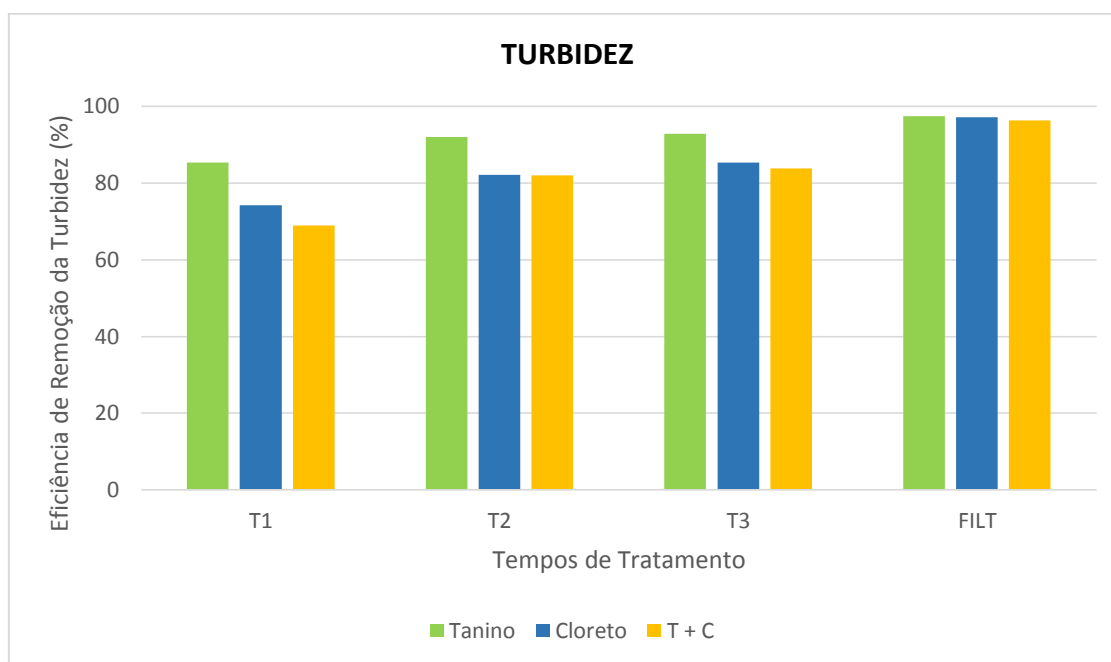
Fonte: Autoria própria, 2019.

Com relação a Tabela 9, todos os tratamentos tiveram faixas de diminuições de seus valores, porém nenhum tratamento obteve valores dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde, que sugere até cinco NTU (0,5 NTU). Os valores variaram de 32,3 uT a 8,64 uT nos tratamentos A1; 56,93 uT e 6,52 uT nos tratamentos A2; e 64,53 uT e 8,35 uT nos tratamentos A3.

Ressalta-se a importância do processo de filtração para a diminuição desses valores, já que sem essa etapa no tratamento os números se elevariam. Alerta-se que a inexistência da etapa de desinfecção colaborou para que o valor fosse maior do que o esperado. A Figura 10 mostra o comportamento das médias dos valores de Turbidez.



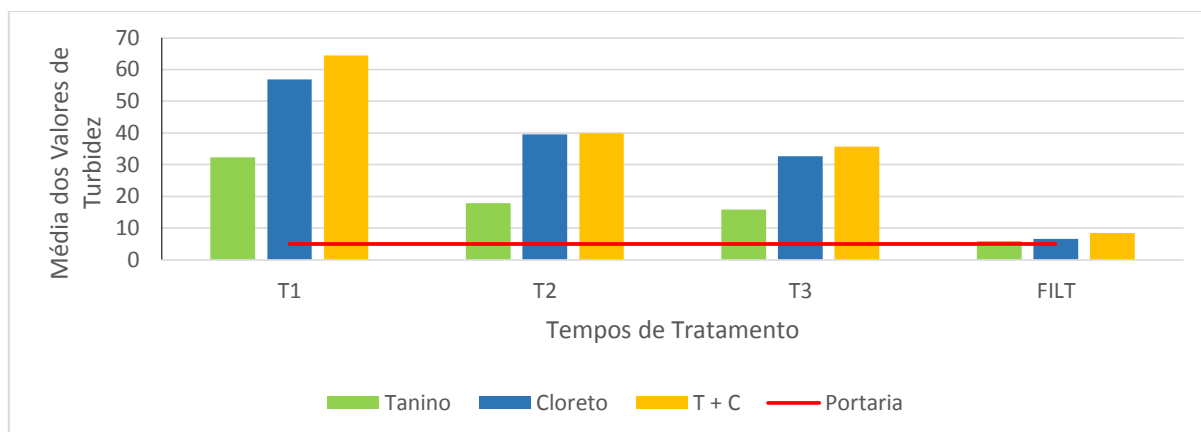
**Figura 10** - Média de remoção da turbidez durante os tempos de sedimentação e após a filtração



Fonte: Autoria própria, 2019.

Nos resultados das análises referentes a eficiência de remoção de turbidez, todos os coagulantes utilizados apresentaram resultados iguais ou superiores a 85% de remoção. O tratamento que apresentou maior índice na remoção da turbidez foi o A1 (Figura 9), alcançando uma eficiência média de 92,84% ao final da sedimentação e 97,35% ao final da filtração. O tratamento com o cloreto férrico também obteve excelentes eficiências sendo 85,25% ao final da sedimentação e 97,08% após a filtração.

Dias et al. (2005) avaliou os efeitos da aplicação do tanino como coagulante sobre a filtração rápida descendente, comparando-o com o cloreto férrico. Assim, averiguou que o tanino apresentou seu melhor desempenho com relação a turbidez final da água decantada, igualando-se ao cloreto férrico na clarificação da água bruta em condições de baixa turbidez (4 NTU) Enquanto que a água tratada com tanino apresentou 48% de remoção da turbidez, a água tratada com cloreto férrico apresentou remoções de 44% de turbidez. Para valor de turbidez de 9 NTU, a redução de turbidez e cor aparente foi similar para os dois coagulantes, na época a portaria era a nº2914/2011. A Figura 11 mostra o comportamento das médias dos valores de turbidez em relação ao valor exigido pela legislação.

**Figura 11** - Comportamento das médias dos valores de turbidez neste experimento

Fonte: Aatoria própria, 2019.

Através da Figura 11 se nota que nenhum tratamento obteve valores dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde, que sugere até 5 NTU em qualquer ponto da rede de distribuição de acordo com padrão organoléptico de potabilidade, mas para padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção é 0,5 NTU .

A média dos valores de turbidez durante a sedimentação foram de 22,00 unidade para A1; 43,01 unidade para A2; e 46,69 unidade para A3, sendo que nenhum desses valores está próximos ao padrão estabelecido pela portaria. Já para o tempo de filtração, A1 teve o melhor resultado, com 5,84 uT; seguido de A2, com 6,52 uT; e A3, com 8,35 uT. Cabe ressaltar que o processo de filtração foi de extrema importância para se aproximar do valor estabelecido pela portaria e que, como não foi realizado o processo de desinfecção, tal fato já era esperado, uma vez que a legislação aborda o tratamento completo da água em todos os seus processos.

Durante os tempos de sedimentação, o tratamento A1 obteve melhores resultados de eficiência de remoção, chegando a 92,84% (tanino) e 97,35% (tanino) ao final da filtração. Siqueira et. al. (2018) analisou a eficiência dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino (Tanfloc) em comparação ao coagulante químico sulfato de alumínio no tratamento da água; seus resultados demonstram que o tanino foi o coagulante que apresentou a maior eficiência de remoção desse parâmetro, com 97,6% de remoção, ficando na mesma faixa dos 97% e concordando com o trabalho apresentado.

Os resultados da análise de variância obtidos para o parâmetro de turbidez são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** - Resultados da análise de variância para a Turbidez

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	2521.7	1260.83	9.6782	0.00083
Tempo	3	6221.4	2073.8	15.9186	0.00001
Coagulante*Tempo	6	781.8	130.29	1.0001	0.44797
Resíduo	24	3126.6	130.27	-	-
Total	35	12651.4	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

A interação entre Coagulante\*Tempo não foi significativa, apresentando p-valor maior que 0,05. Sendo assim, na Tabela 11 são apresentados os resultados das comparações de médias, pelo teste de Tukey, apenas para os coagulantes.

**Tabela 11** - Comparação de médias para a Turbidez

Coagulante	Média
Tanino (A1)	17.96167 b
Cloreto Férrico (A2)	33.8875 a
Tanino + Cloreto Férrico (A3)	37.10417 a

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais, a 5% de significância.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando a Tabela 11, é possível observar que o tanino é estatisticamente menor se comparado aos demais coagulantes, apresentando maior eficiência de remoção do parâmetro. Já o desempenho dos tratamentos A2 e A3 é estatisticamente igual, ou seja, a um nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias desses coagulantes. Portanto, pensando no uso em larga escala, pode-se usar qualquer um deles, já que o resultado na turbidez será o mesmo.

#### 6.4 pH

A Tabela 12 mostra a variação dos valores de pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 12 apresenta o comportamento do

parâmetro para cada amostra das aplicações realizadas associadas ao valor abordado como limite pela legislação.

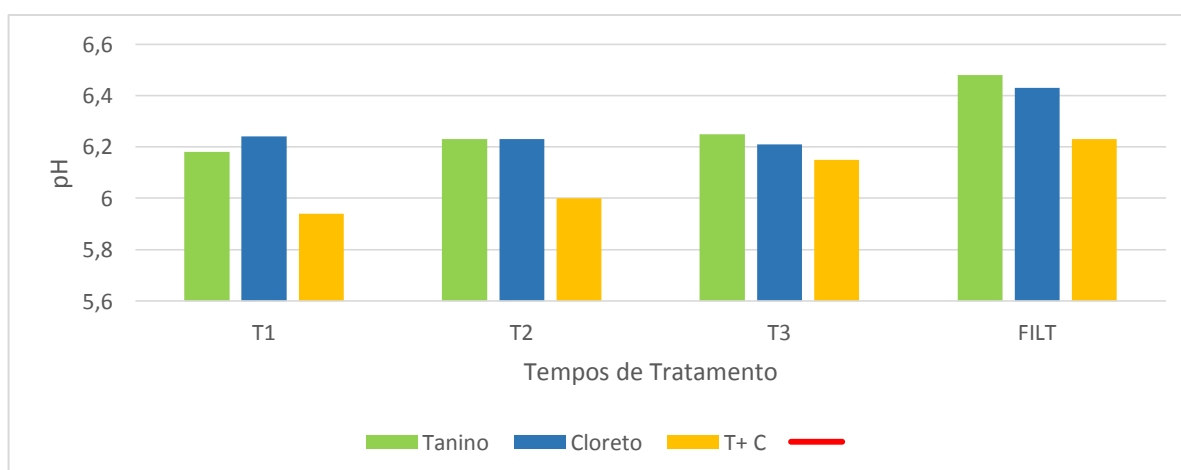
**Tabela 12** - Variação do pH durante os tempos de sedimentação e após a filtração

Aplicação	Amostras	R1	R2	R3
A1	T1	6,19	6,27	6,28
	T2	6,20	6,18	6,23
	T3	6,15	6,23	6,24
	FILT	6,49	6,54	6,41
A2	C1	6,29	6,26	6,23
	C2	6,21	6,21	6,21
	C3	6,18	6,23	6,20
	FILT	6,47	6,43	6,4
A3	T+C1	5,90	5,94	6,12
	T+C2	5,92	5,97	6,12
	T+C3	6,01	6,08	6,20
	FILT	6,17	6,27	6,24

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos.

Fonte: Autoria própria, 2019.

**Figura 12** - Comportamento das médias do pH durante a sedimentação e ao final da filtração



Fonte: Autoria própria, 2019.

Em relação às análises do pH, as amostras tratadas com diferentes coagulantes não apresentaram diferenças, pois todos valores estavam entre 6 e 9, que é a faixa de pH estabelecido na Portaria nº 5/2017 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017). Esse fato valida a ideia de que os coagulantes não alteraram o pH natural da água.

É verificado pela Figura 12 que houve uma leve diminuição nos valores das médias de cada um dos tratamentos, podendo-se inferir que os coagulantes possuem tendência de reduzir a alcalinidade da água. Todas as aplicações realizadas apresentaram resultados dentro dos padrões exigidos pela legislação, que recomenda uma faixa de variação do pH entre 6,0 a 9,0.

Souza (2015) fez uma pesquisa sobre a utilização de taninos nas cascas de duas espécies florestais do Cerrado (*Anadenanthera peregrina* e *Tachigali aurea*), comparando os coagulantes químicos cloreto férrico e sulfato de alumínio. Seus estudos reforçam que os taninos apresentaram ótimo desempenho no parâmetro pH, uma vez que não alteraram o valor desse parâmetro e contribuíram para que a redução, quando utilizados coagulantes químicos, não fosse acentuada. Na Tabela 13 estão dispostos os valores obtidos para a análise de variância desse parâmetro.

**Tabela 13** - Resultados da análise de variância para o pH

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	0.32704	0.163519	40.046	0.0000
Tempo	3	0.33916	0.113055	27.687	0.0000
Coagulante*Tempo	6	0.03076	0.005127	1.256	0.3143
Resíduo	24	0.09800	0.004083	-	-
Total	35	0.79496	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim como com a cor aparente e a turbidez, os resultados da Tabela 13 mostraram que a interação entre Coagulante\*Tempo não é significativa (p-valor > 0,05), portanto, apresentam-se na Tabela 14 apenas as comparações de médias do pH, pelo teste de Tukey, dos coagulantes.

**Tabela 14** - Comparação de médias para o pH

Coagulante	Média
Tanino (A1)	6.284167 a
Cloreto Férrico (A2)	6.276667 a
Tanino + Cloreto Férrico (A3)	6.078333 b

Nota: Letras iguais indicam tratamentos iguais, a 5% de significância.

Fonte: A autoria própria, 2019.

A Tabela 14 mostra que, apesar de apresentar pouca variabilidade nos resultados, o tratamento A3 apresentou uma média estatisticamente menor quando comparada aos demais tratamentos. Já o comportamento do cloreto férrico e do tanino pode ser considerado como estatisticamente igual.

Segundo o resultado do teste de Tukey (representado pelas letras ao lado das médias), as médias do A1 e A2 são estatisticamente iguais e diferentes de A3. Embora numericamente as médias estejam muito próximas, o teste estatístico identificou a diferença. Isso pode ser justificado observando os valores da Tabela 13, pois os valores das somas de quadrados (SQ) e quadrados médios (QM), indicadores de variabilidade, são baixos. Especificamente, observando o  $QM_{Resíduo}$ , uma estimativa da variância do experimento, se extrairmos a raiz quadrada, obtemos o desvio padrão do pH igual a 0,0639, que indica baixíssima variação dos dados.

## 6.5 TEMPERATURA

A Tabela 15 mostra a variação dos valores de temperatura para os tempos de sedimentação e após a filtração, e a Figura 13 apresenta o comportamento do parâmetro para cada amostra das aplicações realizadas em comparação ao estipulado como limite pela legislação.

**Tabela 15** - Variação de temperatura durante os tempos de sedimentação e após a filtração

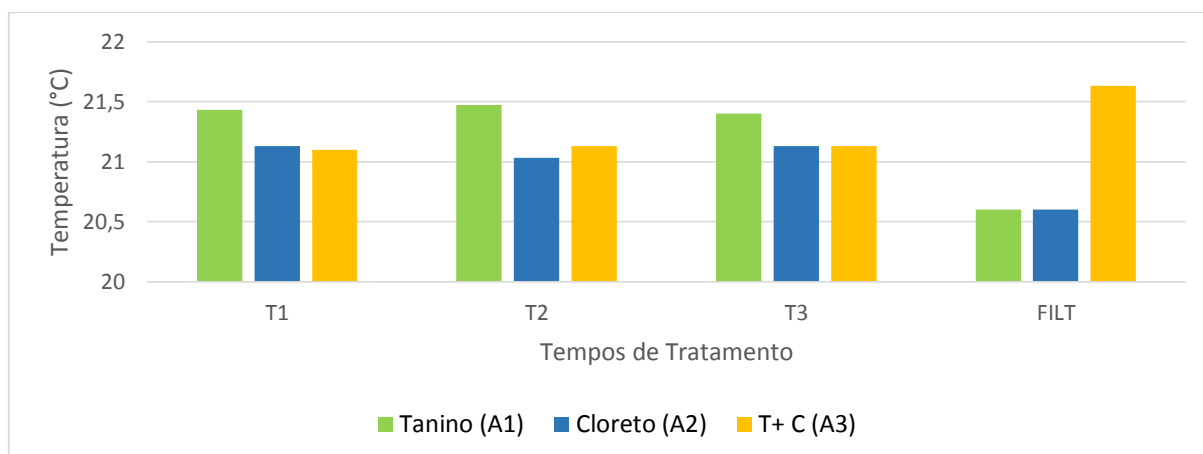
Aplicação	Amostras	R1	R2	R3
<b>A1</b>	T1	21,2	21,5	21,6
	T2	21,3	21,5	21,6
	T3	21,2	21,5	21,5
	FILT	20,6	20,6	20,6

<b>A2</b>	C1	20,9	21	21,5
	C2	21,1	20,9	21,1
	C3	21,1	21	21,3
	FILT	20,6	20,6	20,6
<b>A3</b>	T+C1	20,9	21,2	21,2
	T+C2	21	21,2	21,2
	T+C3	21,1	21,3	21,4
	FILT	21,7	21,5	21,7

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos.

Fonte: Autoria própria, 2019.

**Figura 13** - Comportamento das médias de Temperatura durante a sedimentação e ao final da filtração



Fonte: Autoria própria, 2019.

É notável que os valores de temperatura não sofreram alterações consideráveis em relação ao valor da água bruta (20,9°C), se mantendo entre 20,6°C e 21,6°C, indicando que tal parâmetro não interferiu no processo. No que diz respeito à água distribuída à população, a temperatura não representa um risco à saúde humana. Porém, há uma baixa aceitação de uma água mais quente, já que a dissolução de algumas substâncias pode conferir gosto a ela (PÁDUA; FERREIRA, 2010).

Scalze et al. (2012) identificou a influência da variação da temperatura sobre a ação dos coagulantes sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato de alumínio no processo de tratamento da água. Ao contrário deste estudo, a melhor eficiência obtida foi com a utilização do cloreto férrico, independentemente da temperatura.

Quando a água bruta estava com a temperatura entre 28°C e 30°C, observou-se uma maior eficiência de remoção de turbidez. Isso indicou que, em uma ETA, a adoção de uma mesma dosagem para todos os horários do dia pode implicar em maior consumo de coagulante, não garantir melhoria da qualidade da água tratada e, ainda, provocar maior geração de lodo nas lavagens dos filtros. Caso o ensaio tivesse sido realizado somente em temperaturas menores, não seria notada essa diferença, e o gráfico não apresentaria a tendência ao afunilamento. Os dados obtidos para a análise de variância do parâmetro estão dispostos na Tabela 16.

**Tabela 16** - Resultados da análise de variância para a Temperatura

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Coagulante	2	0.6439	0.32194	37.387	4.23e-08
Tempo	3	0.9389	0.31296	36.344	4.37e-09
Coagulante*Tempo	6	2.1761	0.36269	42.118	1.40e-11
Resíduo	24	0.2067	0.00861	-	-
Total	35	3.9656	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2019.

Analisando os resultados da Tabela 16, verifica-se que o p-valor indicou significância de todos os efeitos: interação Coagulante\*Tempo, Tempo e Coagulante. Portanto, serão realizadas as comparações múltiplas dentro de cada tempo.

A comparação das médias através do Teste de Tukey para a temperatura é dada pela Tabela 17:

**Tabela 17** - Comparação das médias para Temperatura

<b>Coagulante</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<i>Tanino (A1)</i>	21,23333 a	21,5 a	21.56667 a	21.63333 a
<i>Cloreto Férrico (A2)</i>	21,03333 b	21,33333 b	21,3 b	20,6 b
<i>Tanino + Cloreto Férrico</i>	21 b	20.96667 c	21.26667 b	20,6 b



(A3)

Nota: Letras iguais representam tratamentos iguais: avaliar letras na coluna.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Apesar de apresentarem valores médios muito próximos a 5% de significância, a média de temperatura para o tratamento A1 foi considerada estatisticamente diferente das demais em todos os tempos, enquanto os tratamentos A2 e A3 foram considerados estatisticamente iguais para os tempos T1, T3 e T4. No tempo T2, as médias para os três coagulantes analisados são estatisticamente diferentes.

## 6.6 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A análise microbiológica das amostras se deu apenas ao final dos processos de sedimentação (T3) e de filtração (T4), pois o material para a análise era restrito.

### 6.6.1 Coliformes totais

A Tabela 18 apresenta a variação dos valores de coliformes totais para cada amostra das aplicações analisadas de acordo com os tempos de sedimentação e filtração.

**Tabela 18** - Variação de Coliformes Totais ao final da sedimentação e da filtração

Aplicação	Amostra	SEDIMENTAÇÃO	FILTRAÇÃO
<b>A1</b>	T1	1722	365,4
	T2	1467	2419,6
	T3	1607	2419,6
<b>A2</b>	C1	>2419,6	2419,6
	C2	>2419,6	1732,9
	C3	>2419,6	>2419,6
<b>A3</b>	T+C1	1918	>2419,6
	T+C2	3654	613,1
	T+C3	3076	>2419,6

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos

Fonte: Autoria própria, 2019.

Considerando os resultados da Tabela 18, evidencia-se que todas as amostras apresentaram presença de coliformes totais em até 100 mL de água, estando acima do número permitido pela legislação no padrão de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 5/2017, Anexo, XX do Ministério da Saúde, que determina ausência de coliformes totais em até 100 mL de água. O valor desse parâmetro para água bruta também está acima do permitido.

Os pontos que deram resultados aceitáveis foram aqueles em que a etapa da filtração viabilizou uma diminuição nos mesmos, sendo: primeira repetição do tratamento 1, a C2 tratamento 2 e a C2 tratamento 3. A taxa de redução para o tratamento A1 foi de 1356,6 unidade formadora de colônias por mL, ou UFC/mL. No tratamento A2, a taxa foi de 686,6 UFC/mL, o que pode ser impreciso, visto que o valor inicial é um número maior ou igual. Para o tratamento A3 amostra C2, a taxa de redução foi de 3040,9 UFC/mL, o melhor resultado entre todos. Como esse parâmetro não apresentou grande variabilidade nos resultados, não se realizou análise estatística.

#### 6.6.2 *E. coli*

A Tabela 19 apresenta a variação dos valores de *E. coli* para cada amostra das aplicações, analisadas de acordo com os tempos de sedimentação e filtração.

**Tabela 19** - Variação de *E. coli* ao final da sedimentação e da filtração

Aplicação	Amostra	SEDIMENTAÇÃO	FILTRAÇÃO
<b>A1</b>	T 1	<1	1,0
	T 2	<1	1,0
	T 3	<1	8,4
<b>A2</b>	C 1	3	<1
	C 2	4,1	1
	C 3	7,5	1
<b>A3</b>	T+C 1	<1	1
	T+C 2	2	2
	T+C 3	<1	<1

Nota: T: tanino; C: cloreto férrico; T + C: tanino com cloreto férrico; R: repetição; A: tratamentos

Fonte: Autoria própria, 2019.

A partir da Tabela 19, comprova-se que todas as amostras estão fora do padrão de potabilidade que determina ausência de *E. coli* em 100 mL de água. Alega-se a contaminação no manuseio como explicação para esses valores. Os pontos que deram resultados aceitáveis foram aqueles em que a etapa da filtração viabilizou uma diminuição nos mesmos, sendo: primeira, segunda e terceira repetição do tratamento 2 e a C1 do tratamento 3. As taxas de redução possíveis de se comprovar foram: para o tratamento A2 sob amostra C2 de 3,1 UFC/mL. Para a amostra C3, 6,5 UFC/mL, figurando como o melhor resultado entre todos. Como esse parâmetro não apresentou grande variabilidade nos resultados, não se realizou análise estatística.

## **7. CONCLUSÃO**

Através da presente pesquisa, foi possível concluir que, no tratamento de água para abastecimento, o coagulante orgânico tanino apresentou, no geral, resultados mais expressivos se comparado ao coagulante inorgânico cloreto férrico, assim como em relação ao tratamento A3 (mistura dos coagulantes tanino e cloreto férrico). No entanto, os três tratamentos demonstraram eficiência.

Com isso, é possível concluir que a tanino pode ser uma boa fonte alternativa de coagulante para tratamento de água para abastecimento, pois, além de apresentar, neste estudo, resultados semelhantes e até superiores ao cloreto férrico, tem a vantagem de ser de origem orgânica e ser de fácil implementação. E mais, o tanino não agride os seres humanos e nem o meio ambiente.

Para a realização de futuros trabalhos, sugere-se que sejam utilizadas outras faixas granulométricas para os filtros de areia, a fim de encontrar a que melhor se adapte a cada coagulante.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (Ed.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: Pharmabooks, 2012.

BAÚ, Suélen R. Cominetti et al. **Lodo de uma estação de tratamento de água e impactos ambientais**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 10., 2016, Porto Alegre. Disponível em: <[http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/\\_arqTrabalhos/trab\\_2016091217083600000880.pdf](http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_2016091217083600000880.pdf)>. Acesso em: 21 maio 2019.

BOTERO, Wander Gustavo. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**. 2008. 97 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação em Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97748/botero\\_wg\\_me\\_araiq.pdf;jsessionid=A696ECEA113AB09EF3A9397B11FE3BD2?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97748/botero_wg_me_araiq.pdf;jsessionid=A696ECEA113AB09EF3A9397B11FE3BD2?sequence=1)>. Acesso em: 11 fev. 2019.

BRAGA, Fernando Pinto. **Avaliação De Desempenho De Uma Estação De Tratamento De Água Do Município De Juiz De Fora - Mg**. 2014. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-Fernando-Pinto-Braga-2014.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

\_\_\_\_\_. *Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Oficial da União, 18 de março de 2005, p. 58-63.

CARDOSO, Karina Cordeiro et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 30, n. 2, p.193-198, 20 out. 2008. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/5493/5493>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

COMUSA - SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO DE NOVO HAMBURGO (Novo Hamburgo). **Tratamento de Água**. Disponível em: <<http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

CORAL, Lucila Adriani; BERGAMASCO, Rosângela; BASSETTI, Fátima de Jesus. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP | ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2019.

DA SILVA, Telma Salesa Santana da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: Rima Editora, 2005.

DIAS, Amanda Cristina Vieira; DEZOTTI, Márcia; MASSARANI, Giulio. Estudo comparativo entre os efeitos do tanino e de um coagulante convencional sobre a filtração rápida usada no tratamento de água para abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/l-066.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

EUSTÁQUIO, Hugo Mozer Barros. **Ensaio de tratabilidade aplicados a determinação de parâmetros para dimensionamento de processos de**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/15971>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

FERNANDES, Mylena et al. APLICAÇÃO DE TANINO COMO COAGULANTE NO REUSO DA ÁGUA DE LAVAÇÃO DE AUTOMÓVEIS E A UTILIZAÇÃO DO LODO NA AGRICULTURA. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 9, n. 1, nov. 2015. ISSN 1982-5528. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/285>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

FERREIRA, Eric B.; CAVALCANTI, Pórtia P.; NOGUEIRA, Denismar A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, [s.l.], v. 05, n. 19, p.2952-2958, 2014. Scientific Research Publishing, Inc,. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=51204>>. Acesso em: 11 nov. 2018.

FRANCO, Elton Santos. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2201/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Avalia%C3%A7%C3%A3oInflu%C3%AanciaCoagulantes.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2201/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oInflu%C3%AanciaCoagulantes.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2018.

FOELKEL, Celso. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. 2008. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT08\\_leguminosas.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT08_leguminosas.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2019.

GAVINO, Willerson Raphael Giacomitti. **Tratamento avançado de efluente de indústria de papel e celulose por processos de coagulação e ultra**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro-oeste, Irati, 2016. Disponível em: <<http://tede.unicentro.br:8080/jspui/bitstream/jspui/637/2/Willerson%20Raphael%20Giacomitti%20Gavino.>>. Acesso em: 23 jan. 2019.

GEWEHR, André Granzotto. **Tratamento por coagulação-floculação de lixiviado bruto de aterro sanitário com e sem pré-tratamento biológico em reator sequencial em batelada**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/62110>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v. (INGENIUM).

HIGA, Rosana Clara Victoria et al. Acácia-negra. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. Cap. 18. p. 313-319. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98762/1/CPAF-AP-2009-Acacia-negra.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

HIGASHI, Vinícius Yugi et al. Uso de coagulantes químico (cloreto ferrico) e orgânico (moringa oleifera) no tratamento de águas provenientes de sistema lântico. In: **congresso técnico científico da engenharia e da agronomia**, 12., 2016, Foz do Iguaçu. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/11/Usodecoagulantes-qu%C3%ADmico-cloreto-ferrico-e-org%C3%A2nico-moringa-oleifera-no-tratamento-de-%C3%A1guas-provenientes-de-sistema-l%C3%A2ntico.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

**IDEXX**. 2017. Disponível em: < <https://www.idexx.com.br/pt-br/water/> >. Acesso em: 13 maio 2019.

IOSHIMURA, Renato Akira. **Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento de água**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

KAWAMURA, Susumu. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**. V. 83, n. 10, p. 88-91. 01 out. 1991.

LIBÂNIO, Marcelo et al. **Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu.

LO MONACO, Paola Alfonsa Vieira et al. Utilização de extrato de sementes de Moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 5, n. 3, p.222-231, 30 dez. 2010. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas.

LUCYK, Natália et al. Uso de Coagulantes Naturais no Tratamento de coagulação/Floculação de Efluente Proveniente de Abatedouro de Aves. **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, p.576-587, dez. 2015.

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, p.2-15, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20140002>. Acesso em 28 mar. 2019

MARTINI, Marcos Vinicius Petry de. **Estudo da tratabilidade de água pluvial utilizando coagulante natural a base de tanino visando fins não potáveis.** 2013. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119851/000732609.pdf?sequence=1>> Acesso em: 2 mai. 2018

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 5**, de 28 de setembro de 2017. Brasília, Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html)>. Acesso em: 22 nov. 2018.

MONDARDO, Renata Iza. **INFLUÊNCIA DA PRÉ-OXIDAÇÃO NA TRATABILIDADE DAS ÁGUAS VIA FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE EM MANANCIAL COM ELEVADAS CONCENTRAÇÕES DE MICROALGAS E CIANOBACTÉRIAS.** 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87242/204387.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 28 out. 2018

MONTEIRO, Julio Marcelino et al. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p.892-896, out. 2005.

NETTO, José M. de Azevedo. **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de água.** São Paulo: Cetesb, 1987.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v. 50, p.324-330, Dec. 2004.



PÁDUA, Valter Lúcio de; FERREIRA, Andrea Cristina da Silva. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p. 153-221.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PELEGRINO, Eloá Cristina Figueirinha. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PEREIRA, S.L.M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PEREIRA et al. Associação da filtração direta e uso de coagulantes naturais e químicos no tratamento de água de abastecimento, 2019 Estudos transdisciplinares nas engenharias [recurso eletrônico]/ Organizador João Dallamuta – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019, 2019.- (Estudos Transdisciplinates nas Engenharias; v.1)

REALI, Marco Antonio Penalva. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. **Nocões Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de água**, Rio de Janeiro, 1999, 240 p.

RICHTER, Carlos. A.; NETTO, José M. de Azevedo. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1991.

SANTA CATARINA. COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUA E SANEAMENTO. **Estação de tratamento de água - ETA**. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/estacao-de-tratamento-de-agua-eta#0>>. Acesso em: 22 fev. 2019

SANTOS FILHO, Jesuíno Dias dos; RITA, Edmundo Santana Santa. **Gerenciamento Do Resíduo Gerado Na Clarificação De Água Da RLAM**. 2002. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gerenciamento e Tecnologia Ambientais na Indústria, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Disponível em: <[https://teclim.ufba.br/site/material\\_online/monografias/mono\\_santosfilho\\_e\\_rita.pdf](https://teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_santosfilho_e_rita.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2019.

SAAE. **SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA. 2009.** Disponível em: <[http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Agua.pdf](http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2018.

SABOGAL, Lyda Patricia. **Modelo conceitual da seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SCALIZE, Paulo Sergio. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto,** 2003. 146 f. Tese (Doutorado) – Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SCALIZE, Paulo Sérgio et al. Estudo da influência da temperatura da água bruta na eficiência do coagulante químico. **Revista Sodebras**, S.l., v. 7, n. 80, p.3-9, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N80.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2018.

SIQUEIRA, Ana et al. Análise da performance dos coagulantes naturais moringa oleifera e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 15, n. 27, p.18-29, 20 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/eng/ananlise%20da%20performance.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SKORONSKI, Everton et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Rev. Ambient. Água** [online]. 2014, vol. 9, n. 4.

SOUZA, B. T. **Uso de taninos de espécies florestais no tratamento de água para abastecimento.** 2015. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10572/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Uso%20de%20taninos%20de%20esp%C3%A9cies%20florestais%20no%20tratamento%20de%20%C3%A1gua%20para%20abastecimento.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10572/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Uso%20de%20taninos%20de%20esp%C3%A9cies%20florestais%20no%20tratamento%20de%20%C3%A1gua%20para%20abastecimento.pdf)> Acesso em: 08 nov. 2018.

THE R FOUNDATION. **The R Project for Statistical Computing.** Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

THEODORO, Joseane D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano.** 2012. 184 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

TREVISAN, T. S. **Coagulante tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal.** 2014. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do coagulante orgânico veta organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público.** 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

VIEIRA, P. **Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água para consumo humano.** 2009. Tese (Doutorado). Universidade do Algarve, Lisboa, 2009.

YAMAGUCHI, T.E.S. **Aplicação de coagulantes naturais no tratamento de lixiviado de resíduos urbanos.** 2012. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp, Presidente Prudente, 2012. Disponível em:  
<[http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/121775/yamaguchi\\_tes\\_tcc\\_prud.pdf?sequence=1](http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/121775/yamaguchi_tes_tcc_prud.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 20 nov. 2018.

Unicamp (Org.). **Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais: Módulo Saneamento Ambiental.** Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/index-v.html>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

9. ANEXO 1 - Tabela de Número mais provável de coliformes totais e *E. coli* estimados com o uso do método Colilert (Frente e verso)

**IDEXX Quanti-Tray™/2000 Tabla, número más probable**

# Pociños Número Positivo	# Pociños pequenos positivos																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	
2	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240		
3	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240			
4	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240				
5	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240					
6	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240						
7	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240							
8	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240								
9	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240									
10	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240										
11	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240												
12	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240													
13	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240														
14	160	170	180	190	200	210	220	230	240																
15	170	180	190	200	210	220	230	240																	
16	180	200	210	220	230	240																			
17	200	210	220	230	240																				
18	210	220	230	240																					
19	230	240																							
20	240																								
21	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500
22	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500		
23	290	310	320	340	350	360	380	390	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500							
24	310	330	340	350	360	370	380	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500							
25	330	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500								
26	350	360	380	390	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500											
27	370	380	400	420	430	440	450	460	470	480	490	500													
28	390	410	420	440	450	460	470	480	490	500															
29	410	420	440	460	470	480	490	500																	
30	430	440	460	480	490	500																			
31	450	460	480	490	500																				
32	460	470	480	490	500																				
33	480	490	500																						
34	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700					
35	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700							
36	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700									
37	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700										
38	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700												
39	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700														
40	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700															
41	620	630	640	650	660	670	680	690	700																
42	630	640	650	660	670	680	690	700																	
43	640	650	660	670	680	690	700																		
44	650	660	670	680	690	700																			
45	660	670	680	690	700																				
46	670	680	690	700																					
47	680	690	700																						
48	690	700																							
49	700																								

