

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

JAQUELINE DA COSTA BOTELHO

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CORPO LÊNICO COM USO DE COAGULANTE
ORGÂNICO E INORGÂNICO – LAGO IGAPÓ II**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2016**

JAQUELINE DA COSTA BOTELHO

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CORPO LÊNICO COM USO DE COAGULANTE
ORGÂNICO E INORGÂNICO – LAGO IGAPÓ II**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso 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. Joseane Debora Peruço Theodoro.

LONDRINA

2016



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**



**Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental**

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE CORPO LÊNICO COM USO DE COAGULANTE
ORGÂNICO E INORGÂNICO – LAGO IGAPÓ II**

por

Jaqueline da Costa Botelho

Monografia apresentada no dia 17 de junho de 2016 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 trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado).

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

(UTFPR)
Prof. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
Orientadora

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso"

Aos meus pais, Maria de Nazaré e Antonio, com amor e gratidão, por serem minha base, encorajando-me a enfrentar todos os momentos difíceis e ao Daniel, por todo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Manifesto meus sinceros agradecimentos:

À Deus, aos meus pais, a quem sou e sempre serei grata, por tudo o que me proporcionam. Ao Daniel, pelo companheirismo, pelo cuidado e pelo incentivo.

À professora e orientadora Joseane Debora Peruço Theodoro, pela amizade, paciência, auxílio, apoio, ensinamentos e pela dedicada orientação durante a realização deste trabalho ao longo de mais de um ano.

À UTFPR, *campus* Londrina-PR, que ofereceu condições físicas para a realização da coleta e dos ensaios.

Aos amigos, que ajudaram na execução da prática desse trabalho, Caio, Bianca, Jéssica e Raquel.

Às minhas amigas Francine, Marcela, Marcella, Mariane, Glaucia e Letícia que me acompanharam neste caminho, com apoio nos momentos de alegria, tristeza e ansiedade, me ajudando a ter forças para sempre superar os desafios.

À Republica Maria Joana, pelo lar e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar exclusivamente as atividades da graduação.

A Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) do município de Ibiporã – PR, pela ajuda, dentro das suas condições, na disponibilização de recursos que auxiliaram neste trabalho.

Aos membros da banca examinadora – professoras Ligia Flávia Antunes Batista e Edilaine Regina Pereira – por suas valiosas contribuições e críticas que melhoraram significativamente este trabalho de conclusão de curso.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

BOTELHO, Jaqueline da Costa. Tratamento de água de corpo lântico com uso de coagulante orgânico e inorgânico – lago Igapó II. 2016. 59p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

A proposta deste trabalho foi utilizar o coagulante orgânico Tanfloc SG e o coagulante inorgânico sulfato de alumínio, por processos de coagulação, floculação e sedimentação, para tratar a água do lago Igapó II, localizado no município de Londrina-PR, investigando-se a potencial utilização do mesmo para abastecimento. Para o experimento, as dosagens dos dois coagulantes escolhidos, foram variadas seguindo as concentrações C1: 25mgL⁻¹, C2: 45mgL⁻¹ e C3: 65mgL⁻¹. O tratamento ocorreu com o uso do equipamento jar-teste as mesmas condições de mistura rápida e de floculação utilizados na ETA da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Os valores do gradiente de mistura consistiam em um tempo de mistura rápida, 450s⁻¹, e quatro decaimentos, 90s⁻¹, 52s⁻¹, 40s⁻¹ e 30s⁻¹. Após o ensaio, realizou-se um estudo para comparar a remoção de turbidez e cor aparente, além da variação de pH após 10, 20 e 30 minutos de sedimentação. A amostra em estudo foi coletada dias antes dos ensaios. Nos ensaios realizados, tanto para o Tanfloc SG, como para o sulfato de alumínio, a concentração de 65mgL⁻¹, apontaram um bom desempenho. Constatou-se que o coagulante orgânico apesar de ter apresentado variação no parâmetro pH, não foi significativa. Observou-se que o mesmo formou flocos maiores e que se sedimentaram mais rapidamente se comparados aos formados ao coagulantes inorgânico. Os resultados dos percentuais de remoção e a análise estatística indicaram um grande potencial para o Tanfloc SG quando comparado ao sulfato de alumínio, tendo em vista, que mesmo sem a etapa de filtração não ter sido realizada, alguns ensaios apontaram que os valores dos parâmetros analisados estão dentro dos valores máximos permitidos pela Portaria de Potabilidade 2914/11 do Ministério da Saúde e, portanto, pode vir a ser utilizado em substituição ao sulfato de alumínio, comumente utilizado no tratamento de água.

Palavra-chave: Saneamento; Coagulação; Tratamento de água; Coagulante orgânico.

ABSTRACT

BOTELHO, Jaqueline Costa. Lentic body of water treatment with the use of organic and inorganic coagulant - Lake Igapó II. 2016. 59p. Graduate work (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2016.

The purpose of this study was to use organic coagulant Tanfloc SG and the inorganic coagulant aluminum sulfate coagulation through flocculation, sedimentation and processes, to treat the lake water Igapó II, it is located in the city of Londrina, to explore the potential use of for supply. For the experiment, the doses of the two coagulant chosen were varied C1 following concentrations: C1: 25mgL⁻¹, C2: 45mgL⁻¹ and C3: 65mgL⁻¹: 65mgL⁻¹. The treatment occurred using the jar test equipment with the same conditions of rapid mixing and flocculation used in the ETA of the Paraná Sanitation Company (Sanepar). The values of gradient mixture consisted of a time of rapid mixing, 450s⁻¹ and four decays, 90s⁻¹ 52s⁻¹ 40s⁻¹ and 30s⁻¹. After the test, a study to compare the removal of turbidity and apparent color in addition to the pH change after 10, 20 and 30 minutes of settling, was done. The study sample was collected days before the tests. In the tests performed, both the Tanfloc SG, as for the aluminum sulfate concentration of 65mgL⁻¹, showed good performance. It was found that the organic coagulant despite some variation in the pH parameter was not significant. It was observed that even larger flocs formed and are sedimented faster compared to those formed when inorganic coagulants. The results of the percent removal and statistical analysis indicated a large potential for Tanfloc SG when compared with sulfate of aluminum, in order that even without a filtration step was not carried out, some tests indicated that the values of the analyzed parameters they are within the maximums allowed by Order of potability 2914/11 the Ministry of Health and, therefore, could be used instead of aluminum sulfate, generally used in water treatment.

Keywords: Sanitation; Coagulation; Water treatment; Organic coagulant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação média anual do estado do Paraná.....	17
Figura 2 - Localização do ribeirão Cambezinho	19
Figura 3 - Tecnologias convencionais no tratamento de água para consumo.	23
Figura 4 - Representação esquemática de um modelo do processo de coagulação e floculação.	26
Figura 5 - Árvore Acácia Negra.	28
Figura 6 - Localização espacial ponto de coleta no Lago Igapó II.....	32
Figura 7 - Etapas das análises da água bruta.	33
Figura 8 - a) Coleta do dia 08/03/2016; b) Imagem da área de coleta e c) Aspectos gerais do ponto de coleta.	34
Figura 9 - Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação.....	36
Figura 10 - Teste de significância (Wilks) para o coagulante A.....	45
Figura 11 - Gráficos de superfície de resposta para o coagulante A.....	45
Figura 12 - Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A.	46
Figura 13 - Teste de significância (Wilks) para o coagulante B.....	47
Figura 14 - Gráficos de superfície de resposta para o coagulante B.....	47
Figura 15 - Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características do sulfato de alumínio.....	29
Tabela 2 - Valores de pH utilizados para os ensaios.	38
Tabela 3 - Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios.....	36
Tabela 4 - Organização numérica dos ensaios para o coagulante A e B.....	37
Tabela 5 - Valores da caracterização da amostra de água bruta.....	38

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ETA	Estação de Tratamento de Água
g	gramas
g.cm ⁻³	gramas por centímetro cúbico
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
L	Litros
M	Molar
mgL ⁻¹	miligramas por litro
Kgm ⁻³	quilograma por metro cúbico
MS	Ministério da Saúde
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
uH	Unidades de Hazen
uT	Unidades de Turbidez
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VMP	Valor Máximo Permitido
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	16
3.2 CARACTERIZAÇÃO DE LONDRINA.....	16
3.3 SISTEMAS LÊNTICOS E O LAGO IGAPÓ	18
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA	20
3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS.....	20
3.5.1 pH.....	20
3.5.2 Turbidez	21
3.5.3 Cor.....	21
3.5.4 Coliformes termotolerantes	21
3.6 NECESSIDADE E ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA	22
3.7 COAGULAÇÃO	24
3.8 FLOCULAÇÃO	25
3.9 SEDIMENTAÇÃO.....	26
3.10 COAGULANTES	27
3.10.1 Coagulantes orgânicos.....	27
3.10.2 Coagulantes inorgânicos	28
3.11 LEIS VIGENTES PARA O TRATAMENTO DA ÁGUA	30
3.12 PORTARIA 2914/2011 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE.....	31
4 METODOLOGIA.....	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES	33
4.2.1 Solução de tanino (Tanfloc SG)	33
4.2.2 Solução de sulfato de alumínio	33
4.3 COLETA.....	34
4.4 AJUSTE DOS VALORES DE pH	35
4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO	35

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS	36
4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS COLETADAS	38
5.2 ANÁLISES DAS REMOÇÕES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA.....	39
5.2.2 Remoção do parâmetro turbidez	41
5.2.3 Variação de pH.....	43
5.3 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	44
5.3.1 Coagulante A – Tanino (Tanfloc SG).....	45
5.3.2 Coagulante B – Sulfato de alumínio	47
6 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
APÊNCIDE A.....	56

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento industrial e agrícola ocorrido no Brasil a partir da década de 40, evidenciou-se a necessidade do tratamento de água, devido principalmente, a expansão das cidades e o crescimento populacional (REBOUÇAS, 2001).

O crescimento populacional e a falta de planejamento urbano são um agravante da problemática do abastecimento de água. Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2015), a estimativa é de que 748 milhões pessoas no mundo não tenham acesso a água potável até 2030. A água é um elemento essencial ao desenvolvimento de várias atividades humanas, além de ser constituinte básico da biomassa, da paisagem e do meio ambiente (REBOUÇAS, 2001).

No abastecimento urbano, a água é proveniente de mananciais e se baseia em parâmetros de qualidade exigidos pela legislação vigente. Cerca de 25% da população tem problemas de falta ou racionamento de água. A maioria dessas pessoas utilizam fontes variadas para o abastecimento. Uma dessas fontes mais populares, são os açudes e lagos. No entanto, muitas vezes esses sistemas lênticos apresentam água com altos valores de turbidez e cor (sólidos em suspensão e dissolvidos) (BRASIL, 2011).

A partir de descobertas de doenças transmitidas por via hídrica evidenciou-se a necessidade de tratar a água. A qualidade da água então é uma condição de saúde pública, portanto a água deve ser livre de microrganismos, especialmente dos organismos patogênicos, de produtos químicos tóxicos, além de apresentar características físico-químicas específicas como ser incolor e inodora (BRASIL, 2011). Legislação em vigor no Brasil, a Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, esclarece os padrões mínimos de potabilidade da água, entre os quais se destacam os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que devem ser atendidos.

Durante os últimos anos, alguns estudos vêm identificando a possibilidade de utilização de coagulantes orgânicos em substituição aos inorgânicos com fins de produzir água potável, e ainda buscar soluções na redução da geração de lodo (MORAES, 2004). Com isso, uma gama de coagulantes/floculantes vêm sendo utilizados para se obter a remoção de cor e turbidez da água bruta, de forma a torná-la potável.

Estudos epidemiológicos têm apontado evidências de que o uso de grande quantidade do coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água, pode causar a doença de Alzheimer. Essa doença é letal e se desenvolve vagarosamente de modo progressivo, causando danos na memória e em outras funções cognitivas irreparáveis (McLACHLAN, 1995).

Um coagulante tanino, conhecido comercialmente por Tanfloc SG, produzido pela empresa Tanac, é tido como orgânico, uma vez que sua produção é a base de extratos vegetais da acácia negra, que têm sido investigados para ser utilizado na remoção de partículas na água não tratada.

Segundo Corala et al. (2009), esse tipo de coagulante apresenta vantagens sob o coagulante inorgânico, pois é ausente de metais remanescentes na água tratada e também no lodo gerado ao fim do processo de tratamento. Isso implica na facilidade de disposição final do resíduo gerado.

Diante disso, é relevante a busca de alternativas, por opções de tratamento de água para abastecimento, visto que as melhores situações para potenciais uso deste coagulante orgânico devem ser analisadas e investigadas.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso do coagulante orgânico tanino, de nome comercial Tanfloc SG e do coagulante inorgânico sulfato de alumínio, em corpo lântico para o tratamento da água.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a água do Lago Igapó II, localizado na cidade de Londrina, PR, utilizando dois diferentes coagulantes para tratamento da água: um inorgânico (sulfato de alumínio) e outro orgânico (tanino, da marca comercial Tanfloc SG), a fim de avaliar o comportamento e eficiência dos mesmos.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar os parâmetros, por meio da eficiência de remoção de cor aparente, turbidez e variação de pH, para a água da Lago Igapó II, com dois coagulantes diferentes (sulfato de alumínio - inorgânico e Tanfloc SG - orgânico).
- Analisar se os resultados encontrados, estão de acordo com os parâmetros (cor aparente, turbidez e pH) de potabilidade da Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A água é essencial para a população e também para o desenvolvimento econômico da nação. As áreas urbanizadas demandam de grande volume de água devido a alta concentração populacional e intensa prática econômica. Os rios e ou estuários provêm o abastecimento, além de receberem os efluentes gerados, tais como esgotos domésticos e industriais (CAMARGO E PEREIRA, 2003).

O consumo per capita de água para uma cidade grande com mais de 250.000 habitantes, situa-se na faixa de 150 a 300 L.hab⁻¹.dia (VON SPERLING, 2005).

O abastecimento urbano, na maior parte das cidades brasileiras, é proveniente de rios e represas. Tendo em algumas poucas regiões sua captação através de águas subterrâneas (CAMARGO E PEREIRA, 2003).

A necessidade do abastecimento de água tem diferentes pontos de análise sob o aspecto de vista ambiental. Dos diversos problemas que podem ser relacionado a disponibilidade, um deles é a localização da região na qual se localiza a fonte do abastecimento desse recurso que será distribuído (HELLER E PÁDUA, 2006).

Diversos são os conflitos relacionados ao uso da água, no que se diz respeito a qualidade e quantidade desse recurso natural. Essas questões têm conduzido a discussões e problemas sob aspecto legal da situação do uso da água (HELLER E PÁDUA, 2006).

Os desafios entre a distribuição de água e o desenvolvimento sustentável diferem de uma região para outra, no entanto modelos assertivos, que obtiverem resultados positivos, podem servir como base para áreas em situação de vulnerabilidade ambiental.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE LONDRINA

De acordo com classificação climática de Köppen, o clima da região de Londrina é subtropical úmido (Cfa), em locais de menores altitudes, de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão (OLIVEIRA, 2005).

A partir da informação do tipo climático de uma região, é possível delimitar os indicativos ambientais, relacionados, às condições médias de pluviosidade esperadas e temperatura para a área de estudo, possibilitando desse modo identificar o comportamento dos corpos hídricos, que são utilizados para abastecimento (FILHO, 1964).

No mês mais frio do ano, a temperatura média do Município de Londrina é inferior a 18° C, geadas são pouco frequentes, enquanto que a temperatura média no mês mais quente é acima de 22° C, com verões quentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, no entanto não há estação seca definida (INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ - IAPAR, 1994).

Entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro a precipitação é de 500 mm a 600 mm, com precipitação média anual de 1.400 mm a 1.600 mm, como mostrado na Figura 1 (CAVIGLONE et al., 2000).

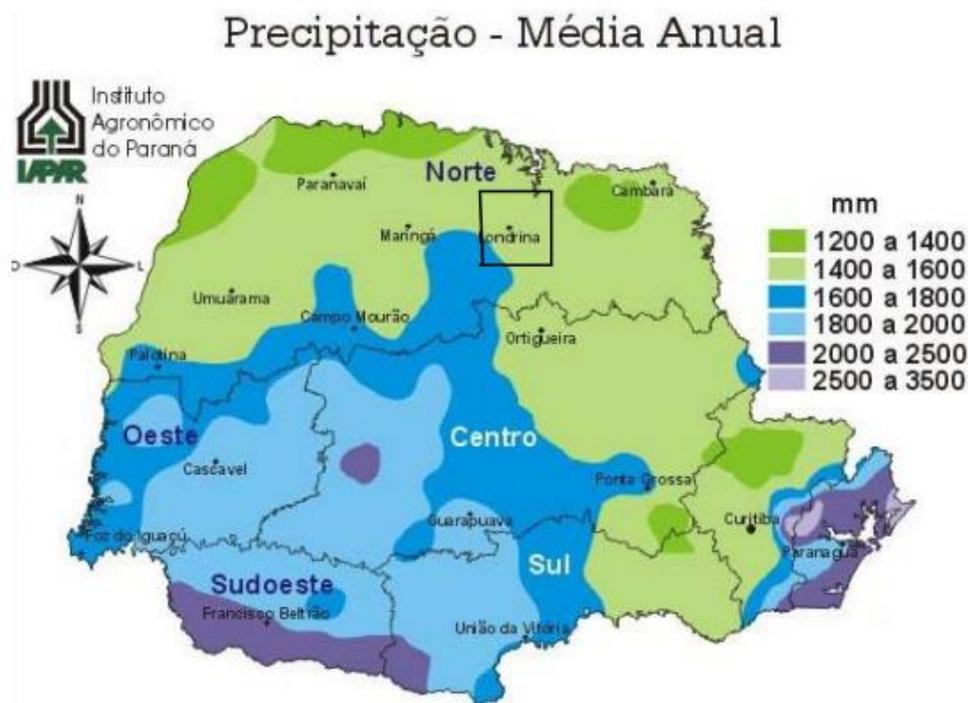


Figura 1 - Precipitação média anual do estado do Paraná

Fonte: IAPAR (2011)

A classificação do solo da área de estudo é tida como Latossolo Vermelho Distroférico, muito argiloso – LVdf conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (TAVARES et al., 2010).

3.3 SISTEMAS LÊNTICOS E O LAGO IGAPÓ

As características principais de um sistema lêntico, estão ligados a alta capacidade para solubilização de compostos orgânicos; gradientes verticais; baixo teor de sais dissolvidos; alta densidade e viscosidade da água; capacidade de sedimentação, a temperatura e radiação subaquática (ESTEVES, 1985).

As condições climáticas, geográficas e geológicas interferem de modo, significativo na determinação da qualidade da água (FILHO, 1964).

O lago Igapó está inserido na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambé (Figura 2), fazendo parte da bacia do Ribeirão Três Bocas (BARROS et al, 2008).

A cidade de Londrina localiza-se entre 23° 08'47" de latitude sul e 51° 19'11", ocupando 1.724,7 Km², cerca de 1% da área total do Paraná. A área urbana de Londrina é de 118,504Km² (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE LONDRINA-PR, 2015)

Criado em 1959, o lago Igapó localizado na parte sul do Município de Londrina, teve sua origem, com o represamento do Ribeirão Cambé, a fim de solucionar o problema de drenagem do ribeirão e, além disso, tornou-se um espaço natural para lazer e esporte, contribuindo com a paisagem do município (CABREIRA, 1992).

O lago Igapó II tem seu início na avenida Higienópolis, terminando na rua Prefeito Faria Lima. Ao lado esquerdo, na margem deste lago, loteamentos de médio a baixo padrão social, ocupam a área desde que foi inaugurado. Enquanto que na margem direita, após a década de 90, loteamentos de alto padrão começaram a ser levantados, compondo parte do bairro Gleba Palhano, a qual se tornou desde então, uma das áreas com maior valor comercial no Município de Londrina. Esse fato implicou em novas perspectivas de revitalização do lago Igapó (BORTOLO, 2009).

A respeito da classificação do Ribeirão Cambé, considerando o Art. 10 da Portaria da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SUREHMA) N° 03 válida a partir de 21 de março de 1991, o mesmo é classificado como classe II. Desse modo, segundo a legislação CONAMA n° 357/05, o mesmo requer um tratamento convencional de água, em caso de haver uso para abastecimento público. Apesar se considerado o cartão postal da cidade, o lago Igapó, enfrenta vários impactos ambientais negativos que interferem nos processos naturais da biodiversidade.

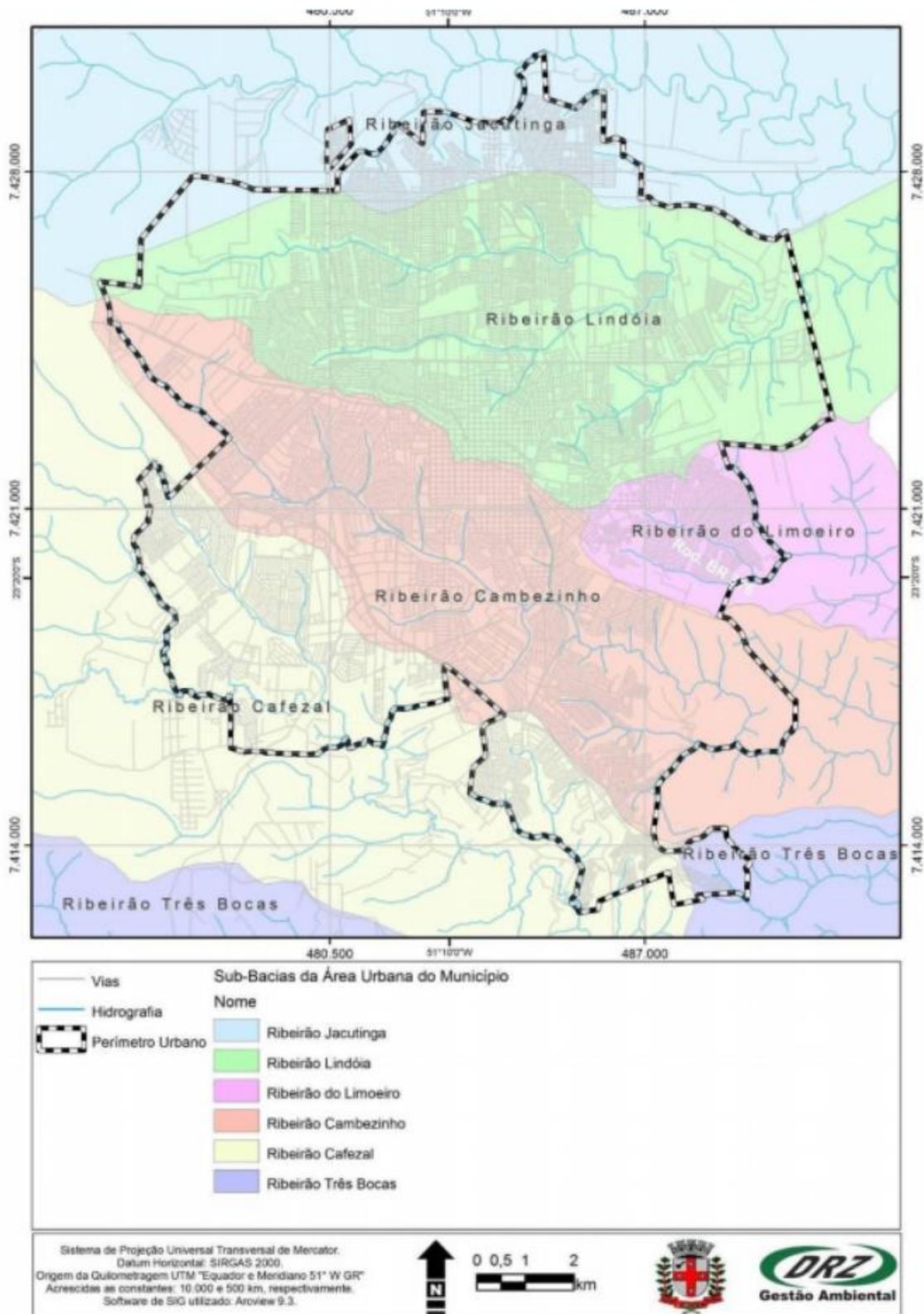


Figura 2 - Localização do ribeirão Cambezinho

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina-PR (2015).

Os processos erosivos identificados nos seus afluentes, em suas margens ou em solos adjacentes, podem estar relacionados com o assoreamento do lago Igapó. No lago Igapó II, encontra-se com uma camada não muito espessa de água, podendo levar ao seu maior aquecimento e menor capacidade de dissolver oxigênio, levando a uma má qualidade de vida da biodiversidade (LORENZO, 2011).

A acelerada ocupação imobiliária da região, em torno do lago pode ter contribuído para o assoreamento, cabendo aos órgãos públicos, propor e executar ações para fiscalização e evitar que isso ocorra de maneira desordenada.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Cerca de 75% da superfície da Terra é ocupada por água. Devido as diferentes características de alto poder de dissolução, a água serve para a maioria das substâncias como solvente natural, além de atuar como meio de transporte para o escoamento subterrâneo e superficial (LIBÂNIO, 2010).

É relevante detalhar algumas características físicas e químicas da água, a fim de se ter entendimento de como as fases do tratamento da água, podem se relacionar de acordo com as especificações de cada parâmetro a ser analisado.

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

As características físicas principais da água são cor, turbidez, sabor, odor, temperatura, condutividade elétrica, pH, alcalinidade (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). O impacto dessas características da água de abastecimento, é de grande relevância, pois pode levar a recusa da água, por parte dos usuários, devido a não conformidade com os parâmetros vigentes na legislação e/ou ainda, com as determinações organolépticas.

3.5.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) interfere na variação cor da água, sendo facilmente removida em valores de pH mais baixos (HELLER E PÁDUA, 2006).

O pH é um dos parâmetros mais importantes em termos de características químicas, em uma das etapas do tratamento da água (coagulação). Quando as águas

possuem pH com características ácidas, essas tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto (LIBÂNIO, 2010).

3.5.2 Turbidez

Em se tratando da turbidez, esse parâmetro denota, segundo Von Sperling (2005), o grau de interferência na passagem de luz na água, resultando a aparência turva do corpo d'água.

O parâmetro de turbidez, também está relacionado a presença de sólidos suspensos na água, que leva a dispersão e absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa, (RICHTER E NETTO, 1991).

As partes que constituem essa turbidez são fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos, e matéria orgânica e inorgânica. A precipitação de carbonato de cálcio para águas duras, de dióxido de ferro e de compostos de alumínio em águas tratadas, são fatores que também podem estar diretamente ligados a turbidez (LIBÂNIO, 2010).

3.5.3 Cor Aparente

Para fins de abastecimento, a cor aparente da água, se relaciona com a fração húmica do solo. Entretanto, a cor pode resultar da presença de ferro e outros metais como constituintes, que são naturalmente encontrados nos mananciais, ou ainda como produtos de corrosão, por despejos de efluentes industriais, indicando uma situação preocupante (HELLER E PÁDUA, 2006).

Os fatores ligados à cor da água são ainda, resultados dos compostos orgânicos de origem vegetal, oriundos da atividade microbiana e pela decomposição de resíduos das atividades humanas (PAVANELLI, 2001).

3.5.4 Coliformes termotolerantes

Dentre as características biológicas pode-se destacar que a identificação dos organismos patogênicos em uma amostra de água é de grande dificuldade, pelo fato de suas baixas concentrações. No entanto, por meio dos organismos indicadores de

contaminação fecal, é possível a detecção de quanto uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou animais e de sua potencialidade para transmitir doenças (VON SPERLING, 2005).

Para isso, o grupo *coliformes*, são os organismos mais utilizados para finalidade de detecção da presença desses tipos bactérias, pois estão presentes em grande quantidade nas fezes humanas (VON SPERLING, 2005).

3.6 NECESSIDADE E ETAPAS DO TRATAMENTO DE ÁGUA

A água, no ciclo hidrológico, pode sofrer contaminações, tanto por ações antrópicas, como pelos animais. Vários fatores estão ligados a essa situação, principalmente nos centros urbanizados, que geram esgotos domésticos e industriais, que são lançados muitas vezes nos corpos hídricos, sem o devido tratamento previsto em legislação (FREITAS et al., 2001).

O crescente aumento da poluição e contaminação dos mananciais, resulta na necessidade de se verificar e avaliar os efeitos causados pela presença de substâncias, que comprometem a qualidade da água destinada ao abastecimento público (SOARES et al., 2002).

Citam-se as doenças de veiculação hídrica mais comuns por conta da contaminação das águas: febres tifoides e paratifoide, disenterias bacilar e amebiana, cólera, diarreia, poliomielite, hepatite e giardíase (TORRES et al., 2000).

A contaminação da água por poluentes ambientais pode levar não só a problemas de saúde relacionados a qualidade da água potável, mas também durante atividades de recreação, tal como natação (CETESB, 2005).

Os esgotos que refluem sem o devido tratamento, também podem ser, na maior parte das vezes, a causa da contaminação das águas e causar graves doenças na população, como apontado por Freitas et al., (2001). A potabilidade da água deve estar de acordo os parâmetros de exigidos na legislação, para que a distribuição seja livre de qualquer contaminação; não permitindo, em caso algum, apresentar riscos à saúde humana (BRASIL, 2004).

Tendo a maioria da água encanada como sendo segura, incidentes de contaminação podem vir a ocorrer. Diversos poluentes podem estar presentes na água, sendo alguns exemplos, tais como: radônio e chumbo, bactérias e vírus (CETESB, 2005).

O grau de potabilidade é alcançado com as várias formas de tratamento da água existentes. O método mais tradicional inclui as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e a fluoretação (FREITAS, 2002).

No mercado, há inúmeras tecnologias para o tratamento de água. O uso de cada uma é consequência das características físicas e químicas da água bruta coletada (LEAL & LIBÂNIO, 2002).

Durante o pré-tratamento em uma ETA (Estação de Tratamento de Água), ocorrem os processos físicos que tem como objetivo a remoção de areia, gordura e sólidos grosseiros. Proveniente de corpos d'água superficiais, a água bruta, geralmente contém material flutuante, areia fina, silte, argila, e algumas vezes, matéria orgânica natural e algas. Pode haver presença de organismos, tais como protozoários, bactérias e vírus, podendo representar riscos à saúde pública, motivo pela qual sua eliminação deve ser muito importante em qualquer sistema de tratamento de água (DI BERNARDO, 1999b).

Destacam-se principalmente, 4 principais processos tratamento de água, subdivididos em processos que necessitam de coagulação ou não, conforme apresentado na Figura 3 (DI BERNARDO, 1995).

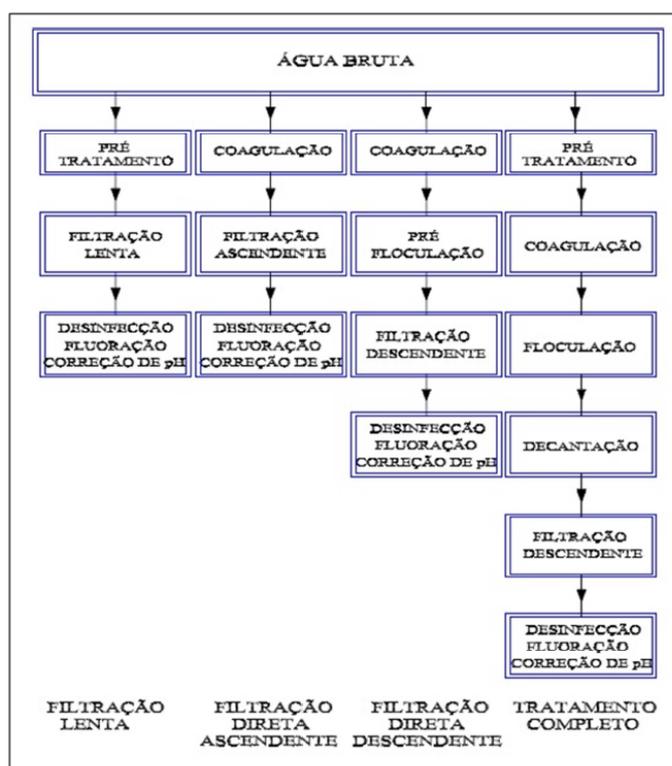


Figura 3 - Tecnologias convencionais no tratamento de água para consumo.

3.7 COAGULAÇÃO

A coagulação é baseada na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, por meio de ações físicas e reações químicas, com tempo de duração de poucos segundos, entre a água, o coagulante, e as impurezas presentes. Cargas elétricas em contato com a água e forças elétricas repulsivas agem sobre os coloides produzindo uma barreira de prevenção a agregação, sobre as partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos (LIBÂNIO, 2010).

A ação individual ou combinada de quatro mecanismos distintos, na coagulação é resultado da: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

- Compressão da Camada Difusa: A desestabilização das partículas coloidais, ocorre nesse mecanismo de coagulação, pois, ao agregar íons de carga contrária às partículas, a elevada concentração de cargas positivas resulta em excesso de íons na camada difusa e fazem com que se reduza o volume da esfera para manter-se eletricamente neutra (PAVANELLI, 2001).
- Adsorção e neutralização da carga: Após a dispersão do coagulante, ocorrem interações entre o coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente. O mecanismo de adsorção-neutralização de carga é extremamente importante no tratamento realizado por meio da filtração direta, devido a não haver necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação, mas sim de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio filtrante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).
- Varredura: é bastante utilizado nas ETA's em que a floculação e sedimentação antecedem a filtração, visto que os flocos resultantes são de maior tamanho e demonstram velocidades de sedimentação relativamente altas em comparação aos flocos obtidos com a coagulação que ocorre no mecanismo de adsorção-neutralização (DI BERNARDO, 1993).
- Adsorção e formação de pontes: nesse mecanismo, quando há adição de polímeros orgânicos reduz as dosagens de coagulantes. Desse modo, a coagulação pode acontecer por intermédio das formações das pontes

químicas, nas quais as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das variadas cadeias dos polímeros (LIBÂNIO, 2010).

Durante o processo de tratamento de água as etapas de coagulação e floculação, têm como objetivo converter as impurezas, que se encontram em estado coloidal ou solução, suspensão fina, bactérias e protozoários ou plâncton, em partículas maiores, a fim de promover as condições em serem removidas por sedimentação e/ou filtração ou, em algumas situações, por flotação (MORAES, 2009).

A coagulação/floculação se dá através da desestabilização das cargas superficiais das partículas que estão em suspensão; esse processo ocorre devido a adição de produtos, que possuem mecanismo de ligação e absorção na superfície da partícula (DEZOTTI, 2008).

O objetivo fundamental da coagulação, no processo de tratamento da água, é a formação de partículas desequilibradas eletricamente (coágulos). Em geral, as partículas são resultantes da ionização do coagulante dissolvido na água, por outro lado a floculação é identificada através da aglutinação das partículas resultantes dessa coagulação, com o material finamente dividido, disperso no corpo d'água. Em prática, esses dois processos ocorrem praticamente de modo simultâneo e devido a isso, não se usa tratá-los separadamente (MORAES, 2009).

3.8 FLOCULAÇÃO

Na floculação, são fornecidas condições para favorecer o contato e a agregação de partículas que foram coaguladas na fase anterior, visto que as formações de flocos com tamanho e massa específicos favorecem a remoção por sedimentação, flotação ou filtração (DI BERNARDO et al., 2005).

A agitação no fenômeno da floculação deve ser suave, para que seja facilitado o contato dos coágulos formados e evite a quebra dos mesmos (DEZZOTTI, 2008). Durante as reações químicas, que ocorrem nas etapas anteriores, as impurezas presentes na água se aglomeram, por meio de choques entre as partículas desestabilizadas pela ação do coagulante, culminando no crescimento de flocos (LIBÂNIO, 2010).

A Figura 4 representa um modelo esquemático no processo de coagulação e floculação, usando-se o coagulante hidróxido de alumínio.

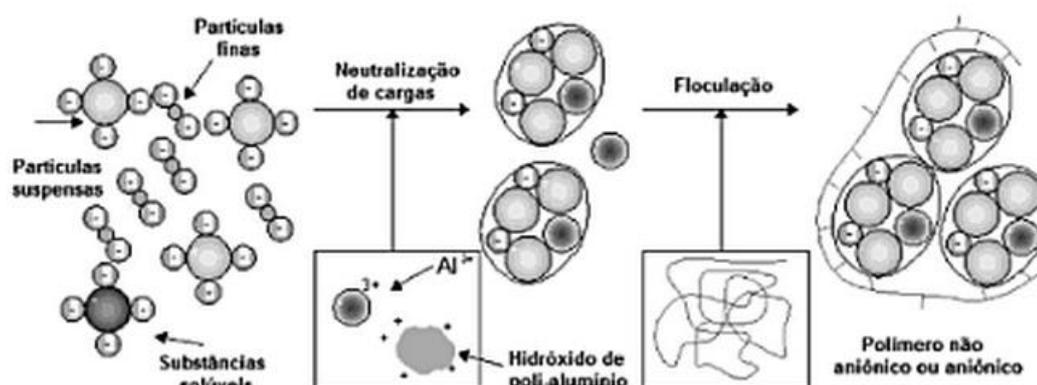


Figura 4 - Representação esquemática de um modelo do processo de coagulação e floculação.

Fonte: Dezotti (2008).

Com movimento aleatório, as partículas coloidais têm suas primeiras colisões entre as partículas desestabilizadas, devido ao movimento Browniano, que depende da energia térmica do fluido e da ação da gravidade. Há o choque e a aglomeração das partículas coloidais desestabilizadas, originando flocos de dimensões inferiores a $1 \mu\text{m}$ (LIBÂNIO, 2010).

3.9 SEDIMENTAÇÃO

Durante a sedimentação ocorre o aumento considerável do tamanho dos flocos e tem a tendência, pela ação da gravidade a se sedimentar. A clarificação da água pela separação das fases sólida e líquida se dá pela ocorrência da sedimentação das partículas suspensas proporcionada. Quanto maior a velocidade de sedimentação, menor será o tempo de residência necessário para a clarificação da água (DI BERNARDO, 1993).

A velocidade de sedimentação dos flocos depende dos parâmetros físicos da floculação, da qualidade da água bruta e das características químicas da coagulação (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

O processo de sedimentação consiste na utilização de forças gravitacionais, para separar as partículas de densidade superior à da água, realizando a deposição das mesmas em uma superfície de armazenamento. Para as partículas que não são removidas na etapa da sedimentação, devido ao seu pequeno tamanho ou ter densidade semelhante da água, é necessário que sejam removidas na filtração (CARVALHO, 2008).

Segundo DI BERNARDO e DANTAS (2005), esse é um fenômeno físico, em que as partículas suspensas demonstram movimentos de descida em meio líquido, devido a ação da gravidade, proporcionado a clarificação da água.

A filtração é uma etapa muito importante para se conseguir uma água potável, essa etapa pode ser rápida ou lenta. Neste trabalho não será realizado o processo de filtração, mas em uma ETA a água deve passar por esse mecanismo, devido a grande demanda de água a ser tratada e distribuída.

Para se garantir a eficiência da filtração rápida, é necessário o pré-tratamento da água bruta através da coagulação química, podendo ou não haver outras etapas do processo de tratamento de água, pois depende da qualidade da água a ser tratada. Na filtração lenta não é utilizada a coagulação química, então a água a ser filtrada deve possuir características apropriadas (DI BERNARDO, 1999b).

A decantação, após as etapas de coagulação e floculação. Segundo Heller e Pádua (2010b), seria a fase para possibilitar a obtenção de partículas com maior velocidade de sedimentação. Desse modo, a eficiência nas unidades de decantação é diretamente ligada ao bom funcionamento dos processos anteriores, a coagulação e a floculação.

3.10 COAGULANTES

3.10.1 Coagulantes orgânicos

Os coagulantes orgânicos são tidos como alternativa, aos inorgânicos, devido ao fato de serem biodegradáveis e não serem tóxicos (BONGIOVANI et al. 2010).

O agente coagulante tanino, de nome comercial Tanfloc SG, é um polímero orgânico/catiônico, proveniente de um processo de lixiviação da casca da Acácia negra (*Acácia mearnsii de wild*), sendo constituído basicamente por tanato quartenáride amônio (Figura 5) (TANAC, 2008).



Figura 5 - Árvore Acácia Negra.

Fonte: Associação Gaúcha de Empresas Florestais (2016).

A empresa TANAC é a responsável pela produção do Tanfloc SG, sendo localizada no Estado do Rio Grande do Sul. Esse coagulante orgânico pode atuar como coagulante natural ou auxiliar de floculação (TANAC, 1999). Tem sua ação efetiva em uma extensa faixa de pH (entre 4,5 – 8,0), excluindo-se a necessidade do uso de alcalinizantes e, além disso, não acrescenta metais ao processo, além de proporcionar uma redução no volume de lodo a ser descartado (CRUZ, 2004).

Os flocos resultantes da coagulação com sulfato de alumínio, que são essencialmente de natureza inorgânica, resultam em lodo que não entra em decomposição biológica (SANTOS FILHO & SANTA RITA, 2002).

3.10.2 Coagulantes inorgânicos

Segundo DEZOTTI (2008), o sulfato de alumínio destaca-se como o coagulante mais utilizado no Brasil, por razões econômicas. Esse produto é capaz de originar hidróxidos gelatinosos insolúveis que adsorvem e envolvem impurezas.

A definição de qual coagulante utilizar depende principalmente das características da água ou efluente a ser tratado, da tecnologia do tratamento e do custo do coagulante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A espécie química sulfato de alumínio possui a fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$, na qual “n” significa aproximadamente 14 a 18 moléculas de água de cristalização. Esse coagulante inorgânico pode ser disposto comercialmente encontrado, na forma de pó ou granulado (CARVALHO, 2008).

As características principais desse coagulante inorgânico estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características do sulfato de alumínio.

Nome comercial	Composição típica	Dosagens usuais aplicadas em estações de tratamento (mgL^{-1})	Massa específica (Kgm^{-3})	Disponibilidade
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	10 a 60	600 a 1.400	Sólido ou líquido

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Esse coagulante inorgânico, sofre um processo de hidrólise, desencadeando a formação de uma série de reações complexas (KAWAMURA, 2000). O sulfato de alumínio, ao estar dissolvido em água, rapidamente se dissocia formando a seguinte reação visualizada na Equação 1 (ROSALINO, 2011):



A reação do alumínio é variável com a fórmula molecular da água (H_2O), hidrolisando assim, esses íons presentes na água, e formando diferentes compostos. O efeito do sulfato de alumínio, como coagulante está fortemente ligado ao pH. Ao final do tratamento, pode haver na água uma, elevada concentração de alumínio residual, em consequência do pH de floculação usado (KAWAMURA, 2000).

Com a formação de vários íons livres de H^+ , uma solução mais ácida é produzida, tornando o valor do pH do final do tratamento mais elevado em relação ao inicial. Então, há a necessidade de readequação da água aos valores aceitos de potabilidade, de acordo com legislação vigente.

Do processo de coagulação, a partir do uso do sulfato de alumínio, os flocos resultantes, são inteiramente de natureza inorgânica e desse modo, o lodo não entra em decomposição biológica, ou seja, não é biodegradável. Esse fato dificulta a sua

disposição final e ainda, apresenta um lodo gelatinoso e volumoso (SANTOS FILHO & SANTA RITA, 2002).

Em um estudo realizado por SIQUEIRA (2009), o lodo gerado do tratamento de água mostrou que as concentrações dos metais estavam em quantidade maior quando houve a utilização de coagulantes inorgânicos, tal como o sulfato de alumínio, do que quando foram utilizados os coagulantes orgânicos, além de não apresentarem biodegradabilidade.

3.11 LEIS VIGENTES PARA O TRATAMENTO DA ÁGUA

O tratamento da água para abastecimento deve atender as exigências de potabilidade do Ministério da Saúde nos diferentes processos e operações da água dos mananciais a fim de adequar-se conforme a PORTARIA Nº 2914, de dezembro de 2011, a qual “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2007).

Conforme a finalidade para qual a água será utilizada, essa pode exigir diferentes características microbiológicas, podendo ser qualitativas e/ou quantitativas (BRANDÃO, 2005). Em ambientes aquáticos destinados à recreação, tais como lagos, cachoeiras, balneário e piscinas, as exigências seguem as normas estabelecidas pela Resolução CONAMA Nº 357/2005.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, representa a possibilidade de zelo e manutenção da qualidade das águas, pois estabelece critério para classificação das águas doces, salobras e salinas no Brasil. No total de 13 classes de águas naturais, sendo 5 classes de água doce. De acordo com o Artigo 4º, como mostrado no Quadro 1, o tipo de tratamento varia conforme a classe da água doce.

Classe	Tipo de tratamento
Classe especial	Processo de desinfecção
Classe I	Tratamento simplificado
Classe II	Tratamento convencional
Classe III	Tratamento convencional ou avançado

Quadro 1 - Tipo de tratamento necessário para cada classe de águas doces.

Fonte: Artigo 4º da Resolução nº357 do CONAMA (2005).

3.12 PORTARIA 2914/2011 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE

A Portaria 2914/2011 define quais são os parâmetros passíveis de análise e delimita quais os limites desses parâmetros, a fim de que determinada água possa ser classificada como potável ou não potável. A Portaria 2914/2011 define os seguintes valores para as características que serão analisadas.

- A cor aparente, no anexo X da portaria, esta possui um valor máximo permitido (VMP) de 15 uH.
- A respeito da turbidez, o valor máximo permitido é de 5 uT.
- Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH se mantenha na faixa de 6 a 9,5.
- Coliformes totais, no padrão microbiológico da água para consumo humano, na saída do tratamento e no sistema de distribuição (reservatórios e rede), o VMP é ausência em 100 mL.

As análises das amostras e ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizadas no Laboratório de Saneamento e Poluentes Atmosféricos, localizado no Campus da UTFPR, na cidade de Londrina-PR. A Figura 7 apresenta o fluxograma que simplifica as etapas para a obtenção dos dados.

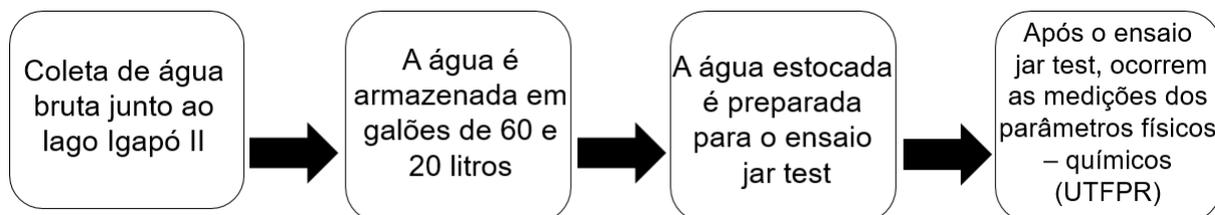


Figura 7 - Etapas das análises da água bruta.

Fonte: Autoria própria.

4.2 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES

4.2.1 Solução de tanino (Tanfloc SG)

A solução do coagulante orgânico Tanfloc SG foi obtida através da pesagem de 1g de Tanfloc SG diluído em um balão volumétrico contendo 1 L de volume água destilada, desta forma a concentração obtida foi de 1 gL^{-1} (TREVISAN, 2014). A Figura 8 mostra a solução pronta.

4.2.2 Solução de sulfato de alumínio

Para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio, foi pesado 1g de sulfato de alumínio e este foi diluído em um balão volumétrico de 1L, obtendo-se a concentração de 1 gL^{-1} . O sulfato de alumínio é um reagente analítico da marca Synth ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, peso molecular $342,15 \text{ g mol}^{-1}$) (TREVISAN, 2014). A Figura 9 mostra a solução pronta.

4.3 COLETA

A coleta foi realizada em um ponto no Lago Igapó II, do município de Londrina – PR. As amostras foram coletadas em 2 parcelas de 60 litros cada e 1 parcela de 20 litros, acondicionadas em bombonas higienizadas previamente, totalizando 140 litros.

Com as bombonas, coletou-se água para agitação e descarte de uma porção do material do ponto escolhido, objetivando equilibrar o meio interno das bombonas e livrando-as de toda e qualquer potencial contaminação. Esse processo foi realizado três vezes e finalmente foi coletado o volume de água final que foi levado ao laboratório da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) - Campus Londrina. A coleta ocorreu no dia 08/03/2016 no período da tarde.

Utilizou-se um balde de 10 litros, para que se pudesse evitar a dispersão de sólidos na parte inferior do ponto de coleta. O balde também passou pelo processo de aclimação, no qual acontece a coleta, agitação e descarte de um volume de água no local escolhido. A Figura 8 mostra a coleta realizada.

A condição climática, no dia da coleta é de ausência de precipitação e temperatura média foi de 23,7°C conforme informações meteorológicas do IAPAR (2016).



Figura 88 - a) Coleta do dia 08/03/2016; b) Imagem da área de coleta e c) Aspectos gerais do ponto de coleta.

Fonte: A autoria Própria (2016).

4.4 AJUSTE DOS VALORES DE pH

Após a coleta das amostras, os galões de água foram transportados até o laboratório da UTFPR. Conforme dados necessários para o planejamento experimental, houve a necessidade de corrigir o valor do pH de entrada das amostras, antes de passar para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, a fim de se testar a hipótese de que o comportamento dos coagulantes é afetado pelo meio, demonstrando que este é um fator independente na análise dos dados.

O procedimento para a correção do pH, se deu com a medição do pH da água bruta, verificando-se que o valor se encontrava próximo da neutralidade. Na sequência, variou-se o pH para básico e para ácido de acordo com o planejamento experimental, para tornar algumas das parcelas ácidas, outras alcalinas e neutras.

O volume de água utilizado para a correção do pH, se deu em função da quantidade total de água bruta necessária para os ensaios realizados. Sendo uma parte destinada ao pH básico, neutro e ácido, com volume respectivamente aproximado de 24 litros para cada bateria de ensaio.

Para o ajuste dos valores de pH, a fim de torná-lo ácido, utilizou-se a solução de ácido clorídrico (HCl), concentração 1M. Utilizou-se 35 mL de HCl, para o volume usado. Enquanto que para a amostra com pH básico, foi utilizado a solução de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração 1 M. Foi necessário o volume de 10 mL para torna a amostra com pH básico.

4.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados após a coleta da água bruta, de acordo com o planejamento experimental, no qual foi utilizado o sulfato de alumínio como coagulante inorgânico, e o Tanfloc SG como coagulante orgânico.

O equipamento jar-test, modelo 218 – 6LDB, da marca Nova Ética, de seis provas com regulador de rotação das hastes misturadoras, foi usado para a realização dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação.

Para o experimento, as dosagens dos dois coagulantes escolhidos, foram variadas seguindo as concentrações C1: 25mgL⁻¹, C2: 45mgL⁻¹ e C3: 65mgL⁻¹,

utilizadas em valores duplicados a fim de atender o volume de água de cada jarro do jar-test, tendo em vista a capacidade de cada jarro de 2L cada um.

A duração do tempo no equipamento jar-test, foi baseada nos mesmos utilizados na estação de tratamento de água da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). No tratamento, o processo consiste na dispersão do coagulante em regime de mistura rápida, seguido de um sistema de decaimento em quatro etapas de mistura lenta nos flocladores. Para esse caso, se considerou como variáveis o gradiente de velocidade (s^{-1}) e o tempo de detenção em minutos. A Figura 9 mostra a sequência a ser adotada:

Mistura Rápida		Mistura Lenta 1		Mistura Lenta 2		Mistura Lenta 3		Mistura Lenta 4	
Gradiente/Tempo									
450	00:10	90	02:00	52	02:35	40	02:40	30	05:40

Figura 9 - Gradiente de rotação das hastes misturadoras e tempo de ação.

Fonte: TREVISAN (2014).

Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foi adotado um tempo para sedimentação de 30 minutos, no qual foram realizadas medições dos parâmetros cor, turbidez e pH, desde o tempo de 10 minutos até o tempo final de sedimentação, em intervalos de 10 em 10 minutos para avaliar a variação dos mesmos em cada tempo.

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Para todas as variações de concentrações de sulfato de alumínio e Tanfloc SG, conforme apresentado na Tabela 2, foram determinados os parâmetros de cor aparente, turbidez, pH, de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Tabela 2 - Equipamentos e metodologia para a bateria de ensaios.

Parâmetro	Equipamento/Modelo	Metodologia
Cor aparente	Espectrofotômetro DR 5000	2120 C
Turbidez	Turbidímetro AP2000	2130 B
pH	pH-metro pHB 500 ION	4500 H ⁺ B

Fonte: Standard Methods, APHA (2012).

4.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Por motivos didáticos, o coagulante Tanfloc SG é denominado “A” e o coagulante sulfato de alumínio de “B”. Para os dois coagulantes, é importante destacar que as concentrações escolhidas foram baseadas em estudos realizados por Pavanelli (2001), Trevisan (2014) e Yugi (2015).

A fim de tornar a manipulação dos dados mais fácil e diminuir os erros operacionais, exigidos pelo software *Statistic*, utilizou-se a montagem do planejamento fatorial, para análise fatorial, nos quais as concentrações do coagulante e pH foram codificadas. A organização numérica dos ensaios, com suas respectivas repetições, valores de pH e concentrações utilizadas, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Organização numérica dos ensaios para o coagulante A e B.

Ensaio	Réplica	pH	Concentração dos coagulantes (mgL ⁻¹)
1	1	-1 (4,0)	-1(25)
2	1	-1(4,0)	0(45)
3	1	-1(4,0)	1(65)
4	1	0(7,06)	-1(25)
5	1	0(7,06)	0(45)
6	1	0(7,06)	1(65)
7	1	1(10,34)	-1(25)
8	1	1(10,34)	0(45)
9	1	1(10,34)	1(65)
10	2	-1 (4,0)	-1(25)
11	2	-1(4,0)	0(45)
12	2	-1(4,0)	1(65)
13	2	0(7,06)	-1(25)
14	2	0(7,06)	0(45)
15	2	0(7,06)	1(65)
16	2	1(10,34)	-1(25)
17	2	1(10,34)	0(45)
18	2	1(10,34)	1(65)

Fonte: Autoria própria (2016).

O Apêndice A apresenta o planejamento experimental e estatístico das três variáveis independentes: concentração do coagulante, o tempo de sedimentação e o pH da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS COLETADAS

Após a coleta do material, as amostras foram transportadas até os Laboratórios de Saneamento e Poluentes Atmosféricos da UTFPR – Campus Londrina. Foram realizadas as leituras dos parâmetros cor aparente, turbidez e pH da água bruta. Os valores obtidos são mostrados na Tabela 4. A Tabela 5, apresenta os valores de pH adotados nas amostras.

Tabela 4 - Valores da caracterização da amostra de água bruta.

	Cor (uH)	Turbidez (uT)	pH	Coliforme total NMP/100mL	E. coli NMP/100mL
Amostra	71	25,1	7,06	6.867	855

Nota (1): NPM: Número mais provável. Nota (2): uH: Unidade Hazen. Nota (3): uT: Unidade de Turbidez

Fonte: A autoria própria (2016).

Tabela 5 - Valores de pH utilizados para os ensaios.

Amostras	pH
Natural	7,06
Ácidas	4,00
Básicas	10,34

Fonte: A autoria própria (2016).

A constatação de coliforme total e E. Coli, deu-se em parceria com o laboratório da SAMAE (Ibiporã-PR) a fim de se verificar a presença de coliformes na amostra bruta, uma vez que, devido a questões econômicas, não foi possível ter o material para realizar essas análises na Universidade.

De acordo com a Tabela 5, os parâmetros bacteriológicos da água bruta analisados contêm coliformes totais acima do padrão recomendado, de acordo com a Portaria 2914/2011 para água potável, assim como a presença de E. Coli, também acima do limite determinado pela mesma legislação.

5.2 ANÁLISES DAS REMOÇÕES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

Com o auxílio do software Excel, foram gerados gráficos, a fim de demonstrar os resultados obtidos a partir da realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, sob o aspecto de remoção dos parâmetros físicos cor aparente, turbidez e variação de pH.

A base de dados foi obtida após os processos de coagulação, floculação e sedimentação de todos os parâmetros estudados (Apêndice A, Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4).

5.2.1 Remoção do parâmetro cor aparente

Os gráficos 1 e 2, resultantes da análise das Tabelas A.2 e A.4 (Apêndice A) mostram as remoções do parâmetro cor aparente para o processo de coagulação, floculação e sedimentação, com o uso dos coagulantes A e B, respectivamente.

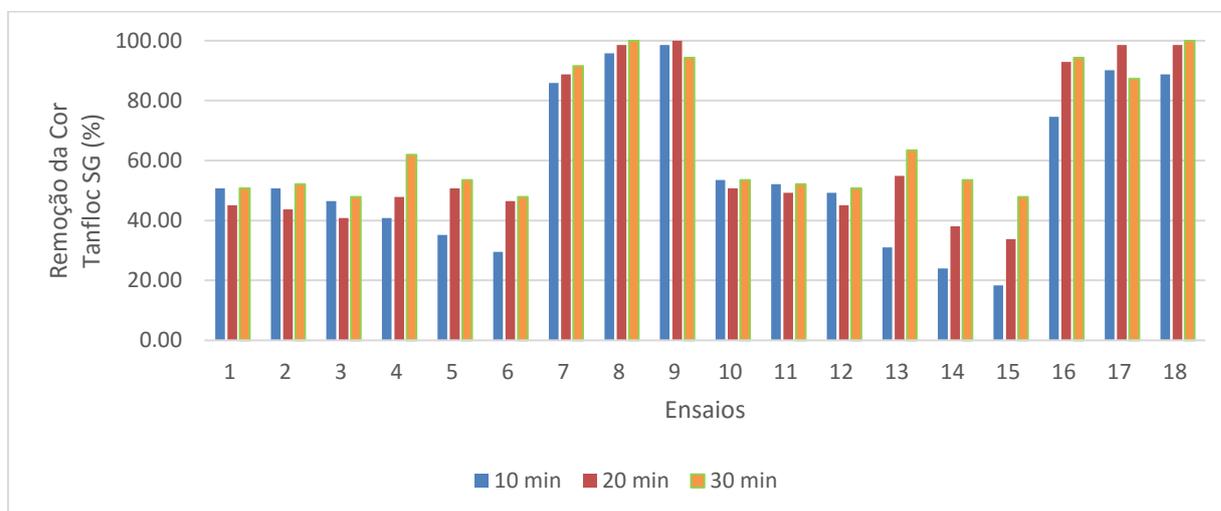


Gráfico 1 - Remoção do parâmetro cor aparente, pelo coagulante A (Tanfloc SG).

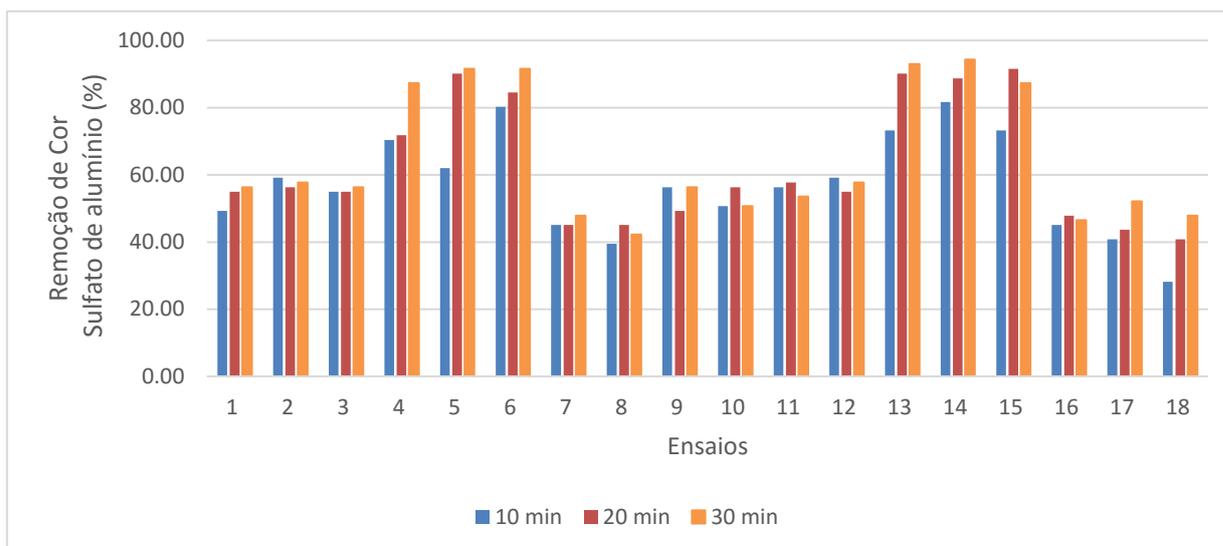


Gráfico 2 - Remoção do parâmetro cor aparente, pelo coagulante B (sulfato de alumínio).

Considerando a efetividade do processo, o Gráfico 1 foi o que apresentou os melhores resultados. Nos ensaios 9 e 18, para tempos de sedimentação 20 e 30 minutos, respectivamente, a remoção de cor chegou a 100%. E nos ensaios 7, 8, 16 e 17, este parâmetro atingiu a faixa do limite superior, entre 80% e 100%.

Segundo os estudos conduzidos por Carvalho (2008), que utilizou coagulante orgânico em separado e combinado com um coagulante inorgânico, os resultados foram positivos, considerando os mesmos parâmetros físicos abordados neste trabalho, consolidando o potencial dessa tecnologia e corroborando os estudos previamente realizados para o processo de tratamento de água.

O Gráfico 2 não apresentou resultados com 100% de remoção do parâmetro cor. No entanto, os ensaios 5, 6, 13, 14 e 15 tiveram seus valores resultantes entre 80% e 100% para os tempos de 20 e 30 minutos. O ensaio 4 atingiu esta faixa valor somente para o tempo de 30 minutos. O ensaio 18 apresentou uma remoção menor do que 40%, ao final do tempo 10 minutos de sedimentação adotado.

Em um estudo realizado por Piantá (2008), para comparar os coagulantes Tanfloc (SL e SG) e o Sulfato de Alumínio, se constatou que o uso do Tanfloc aumenta a eficiência durante a coagulação e floculação, devido a formação de maiores flocos. As águas tratadas com o produto também apresentaram características físico-químicas para os parâmetros de cor e turbidez recomendados na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Trevisan (2014), na utilização de coagulantes orgânicos (Tanfloc SG), comparando o desempenho de coagulantes inorgânicos (cloreto férrico e sulfato de

alumínio) em amostras de água coletadas na tubulação de entrada de uma ETA, constatou que as condições iniciais de sólidos suspensos e dissolvidos são motivadores no desfecho do processo de coagulação, para uma respectiva dosagem dos coagulantes analisados. O coagulante orgânico testado (Tanfloc SG) obteve dosagens que apresentaram remoções de cor aparente e turbidez superiores aos coagulantes inorgânicos.

Para o coagulante A, quanto a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, seis ensaios atenderam ao VMP de cor aparente (ensaios 7, 8, 9, 16, 17 e 18) após o tempo de sedimentação total. Para o coagulante B, também seis ensaios atenderam a legislação (ensaios 4, 5, 6, 13, 14 e 15).

5.2.2 Remoção do parâmetro turbidez

Os Gráficos 3 e 4, resultantes da análise das Tabelas A.2 e A.4 (Apêndice A), apresentam as remoções do parâmetro turbidez para o processo de coagulação, floculação, e sedimentação com o uso dos coagulantes A e B respectivamente.

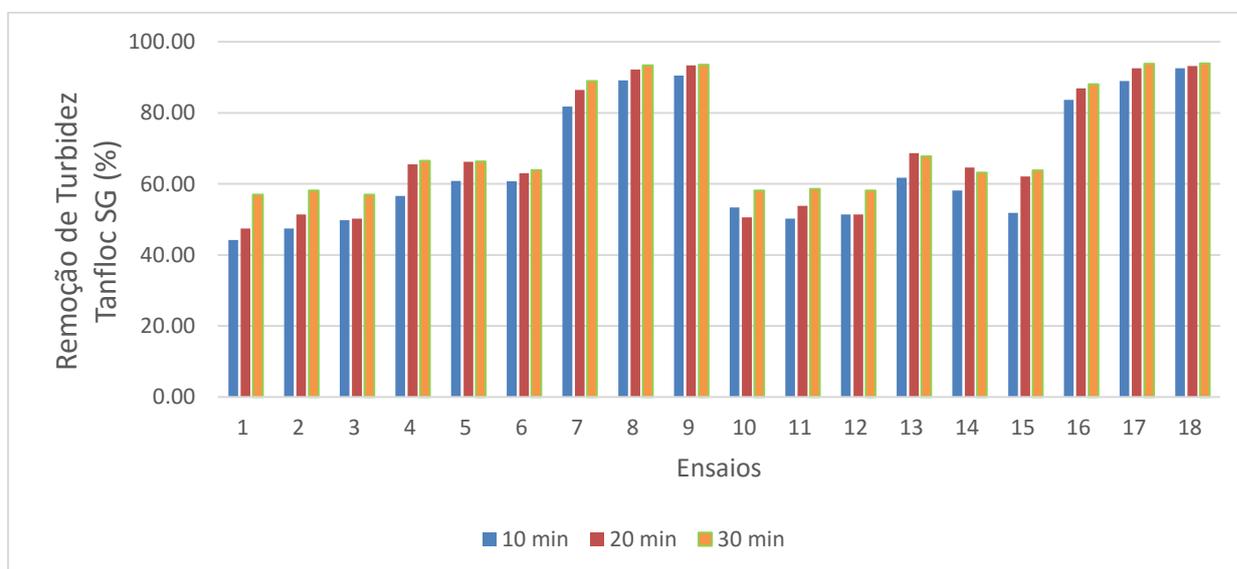


Gráfico 3 - Remoção do parâmetro turbidez, pelo coagulante A (Tanfloc SG).

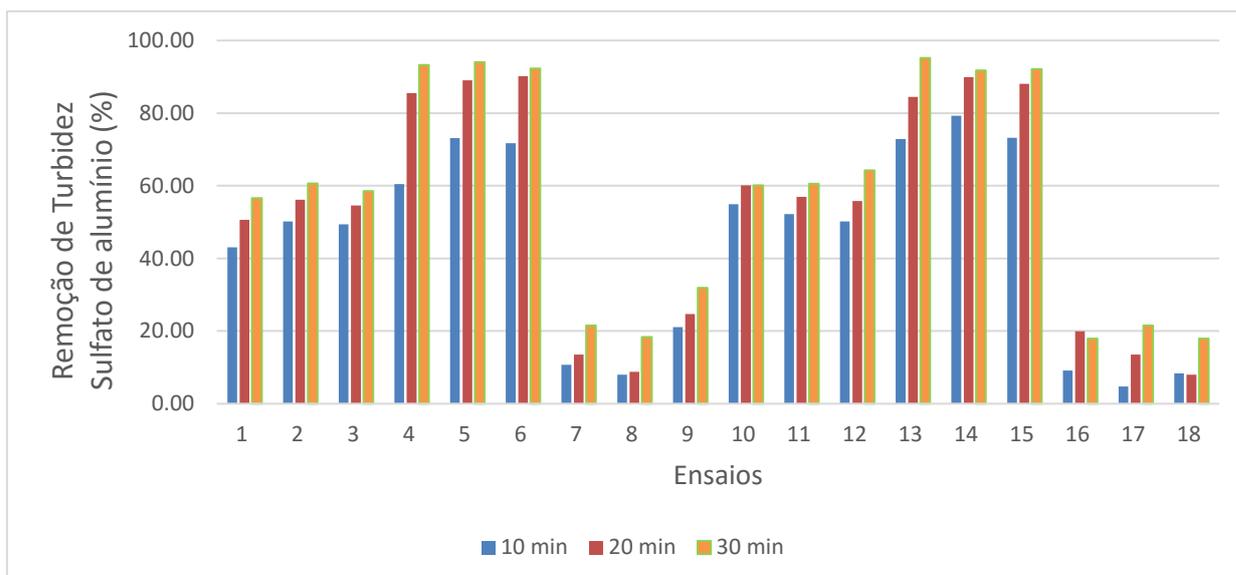


Gráfico 4 - Remoção do parâmetro turbidez, pelo coagulante B (Sulfato de alumínio).

O Gráfico 3, demonstrou grande coesão nos dados. Todos os ensaios, ao final do processo de sedimentação, apresentaram remoção de pelo menos 40% de turbidez.

Trevisan (2013), em estudo que visou avaliar o desempenho do sulfato de alumínio, obteve resultados de remoção do parâmetro de turbidez entre 50% de 90%.

Apesar da etapa da filtração não ter sido realizada, esse fato não demonstrou interferir na eficiência de remoção de turbidez do coagulante A, uma vez que para o pH neutro (7,06), ao final total do tempo de sedimentação, nos ensaios 4, 5, 6, 13, 14 e 15, os valores obtidos, já atenderam a Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011.

O Gráfico 4, apresentou disparidades nos resultados, pois obteve picos de remoção acima de 90%, em 6 dos ensaios (4, 5, 6, 13, 14 e 15) e em 3 ensaios (8,16 e 18) a remoção foi abaixo de 20%, sendo ambos os casos considerando todos os três tempos de sedimentação.

O excesso de íons sódio no meio, prejudica a coagulação com o coagulante químico, sulfato de alumínio (DI BERNARDO et al, 2003), desse modo as baixas eficiências em pH alcalino, podem ser indícios de excesso de íons sódio no meio, devido a correção do pH ter sido realizada com hidróxido de sódio.

5.2.3 Variação de pH

Os Gráficos 5 e 6, resultantes da análise das Tabelas A.2 e A.4 (Apêndice A), apresentam os resultados de variação de pH, em porcentagem em relação ao valor inicial do ensio, para o processo de coagulação, floculação e sedimentação com o uso dos coagulantes A e B respectivamente.

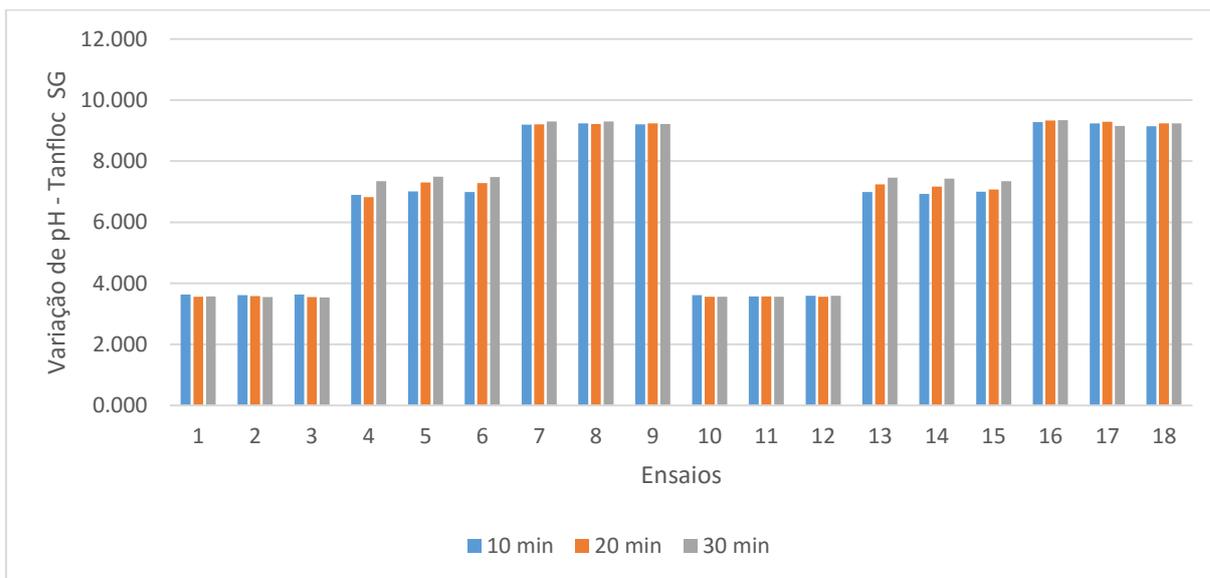


Gráfico 5 - Variação do parâmetro pH, pelo coagulante A (Tanfloc SG).

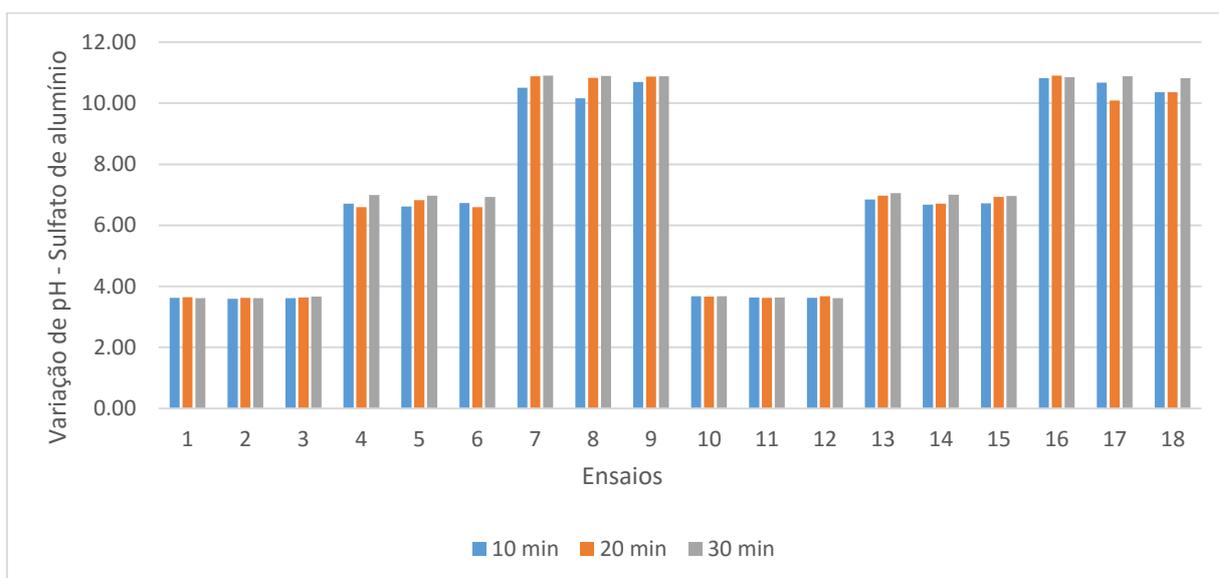


Gráfico 6 - Variação do parâmetro pH, pelo coagulante B (Sulfato de alumínio).

O Gráfico 6, apresenta que as amostras tratadas com sulfato de alumínio se mostraram menos inalteradas em relação ao pH inicial.

Entretanto, essa situação não se repetiu uniformemente com o Tanfloc SG conforme mostra o Gráfico 5, visto que o pH da água a tornou mais ácida. Verifica-se que o aumento da concentração influencia na diminuição do pH da água e desse modo, apenas os valores de pH neutro, atendem a Portaria N° 2914/2011, que coloca a faixa entre 6 a 9,5 para o pH no sistema de distribuição.

Bomfim (2015), em estudo realizado para avaliar o desempenho do Tanfloc SG e sulfato de alumínio, foram identificadas eficiências de remoção de turbidez e de cor aparente entre os valores de pH de 7,5 a 8,5 e dosagens de coagulante variando de 6,0 a 30,0 mgL⁻¹ para o coagulante Tanfloc SG. Enquanto que para o sulfato de alumínio, o melhor desempenho apresentou-se em valores de pH mais baixos em relação aos coagulantes Tanfloc SG.

Nesse estudo, a maior eficiência obtida para remoção dos parâmetros cor aparente (Gráfico 2) e turbidez (Gráfico 4) para o Tanfloc SG, ocorreram em pH básico.

Di Bernardo e Dantas (2005), encontraram para a remoção da turbidez, os melhores resultados obtidos com o uso do Tanfloc SG, foi para pH da água na faixa entre 7,5 a 8,5.

O sulfato de alumínio em valores de pH, é eficiente entre 5,5 a 8,5; abaixo de 5,5 e acima de 8,5 os íons de alumínio se tornam solúveis em água e por isso não precipitam levando a ineficiência do processo de coagulação (ROSALINO, 2011).

5.3 ANÁLISE CONFORME O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A partir dos dados coletados dos parâmetros cor aparente, turbidez e pH, foi possível aplicar a análise fatorial, conforme o planejamento experimental (Tabela 5), através do software Statistica (fabricante Dell), além disso realizou-se uma análise multivariável mais abrangente, sob o ponto de vista do número de parâmetros envolvidos.

5.3.1 Coagulante A – Tanino (Tanfloc SG)

Nas Figuras 10, 11 e 12, são apresentando os resultados da estatística utilizada para o Coagulante A.

Effect	Testes multivariados de Significância (coagulante A (tanino)) Parametrização Sigma-restricted Hipótese eficaz decomposição					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000049	168524.8	3	25.00000	0.000000
Tanino	Wilks	0.000015	2156.0	6	50.00000	0.000000
pH da amostra	Wilks	0.652979	2.0	6	50.00000	0.086284
Tempo	Wilks	0.199959	10.3	6	50.00000	0.000000
Tanino*pH da amostra	Wilks	0.229582	4.1	12	66.43529	0.000085
Tanino*Tempo	Wilks	0.111125	7.2	12	66.43529	0.000000
pH da amostra*Tempo	Wilks	0.830458	0.4	12	66.43529	0.957704
Tanino*pH da amostra*Tempo	Wilks	0.746142	0.3	24	73.10882	0.998551

Figura 10 - Teste de significância (Wilks) para o coagulante A.

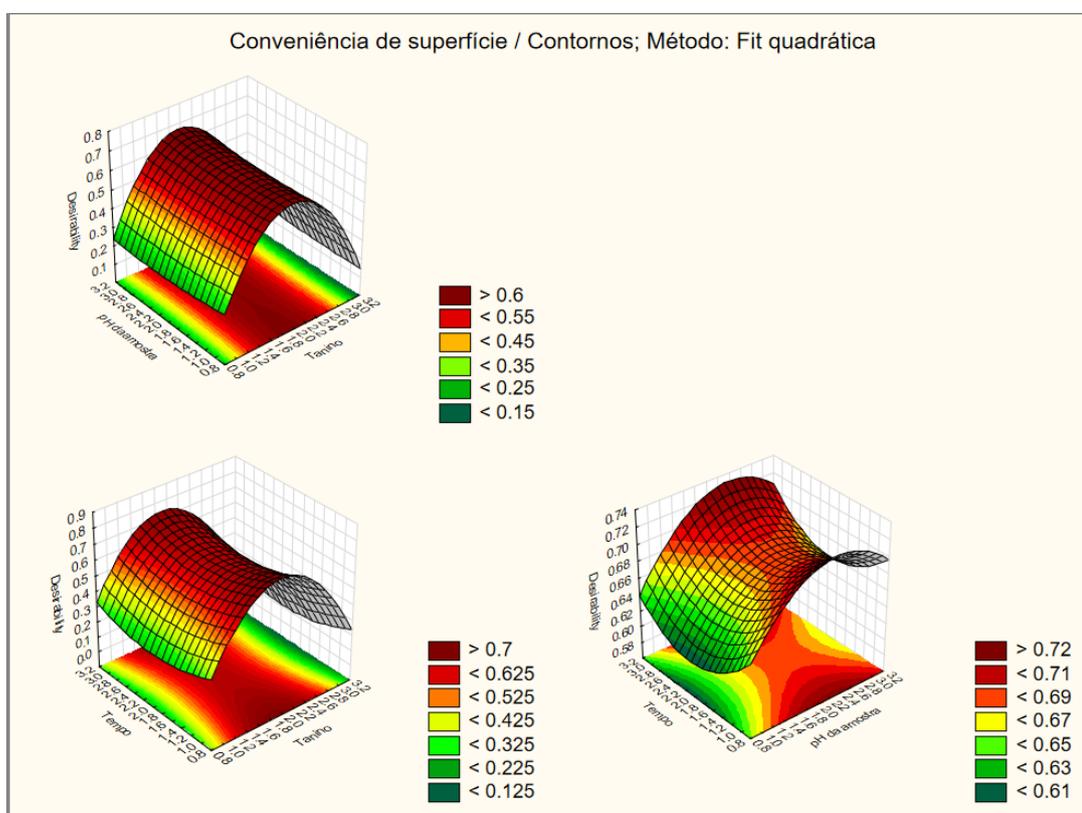


Figura 91 - Gráficos de superfície de resposta para o coagulante A.

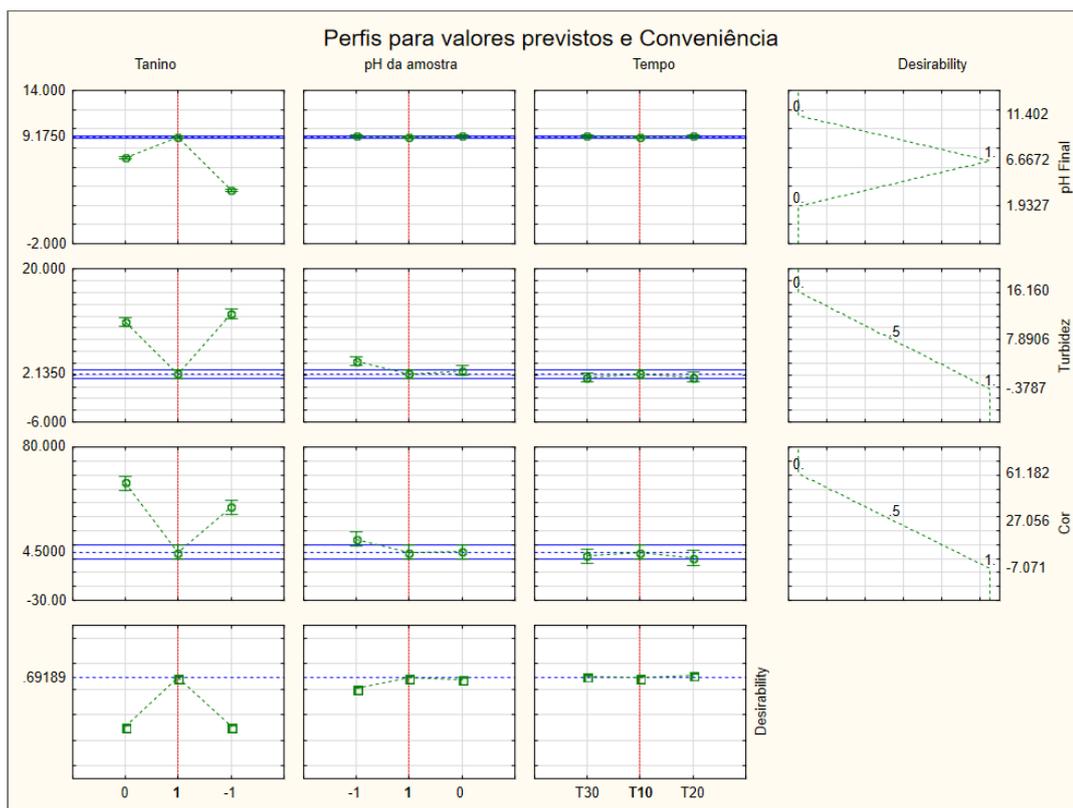


Figura 12 - Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante A.

Na Figura 10, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 para as variáveis Tanino (concentração), tempo e para a interação entre as variáveis Tanino (concentração) e pH, Tanino (concentração) e tempo, considerando um nível de significância de 5%. Desse modo, esses são fatores que apresentaram diferenciação relevante (acima de 5%) nas médias das variáveis de resposta.

Conforme a Figura 11, as interações entre as variáveis que apresentaram significância ocorreram entre as variáveis Tanino (concentração) e o pH, Tanino (concentração) e tempo, e ainda pH da amostra e tempo.

Na Figura 11, no gráfico de pH e Tanino (concentração), para essa interação teve como resposta as situações em que as concentrações eram de média para alta e pH básico. Tal fato pode ser confirmado nos Gráficos 1 e 3, onde nos ensaios 9 e 18, para valores de pH básico e concentrações mais elevadas, aconteceram as melhores respostas para remoção de cor aparente e turbidez.

Na Figura 12, são mostrados os gráficos de ponto “desejado” (ou seja, de melhor valor para os ensaios) para cada variável de entrada, quando analisadas

isoladamente. O ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 1 (65 mgL^{-1}), para o pH no valor codificado 1 (10,34), com tempo de sedimentação aos 10 minutos.

5.3.2 Coagulante B – Sulfato de alumínio

Nas Figuras 13, 14 e 15, são apresentando os resultados da estatística utilizada para o Coagulante B.

Testes multivariados de Significância (coagulante B (sulfato de alumínio))						
Parametrização Sigma-restricted						
Hipótese eficaz decomposição						
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000194	42972.24	3	25.00000	0.000000
Sulfato de Alumínio	Wilks	0.731108	1.41	6	50.00000	0.228382
pH da amostra	Wilks	0.000033	1434.45	6	50.00000	0.000000
Tempo	Wilks	0.221787	9.36	6	50.00000	0.000001
Sulfato de Alumínio*pH da amostra	Wilks	0.758557	0.61	12	66.43529	0.826643
Sulfato de Alumínio*Tempo	Wilks	0.889324	0.25	12	66.43529	0.994284
pH da amostra*Tempo	Wilks	0.467244	1.84	12	66.43529	0.058425
Sulfato de Alumínio*pH da amostra*Tempo	Wilks	0.672094	0.45	24	73.10882	0.985272

Figura 13 - Teste de significância (Wilks) para o coagulante B.

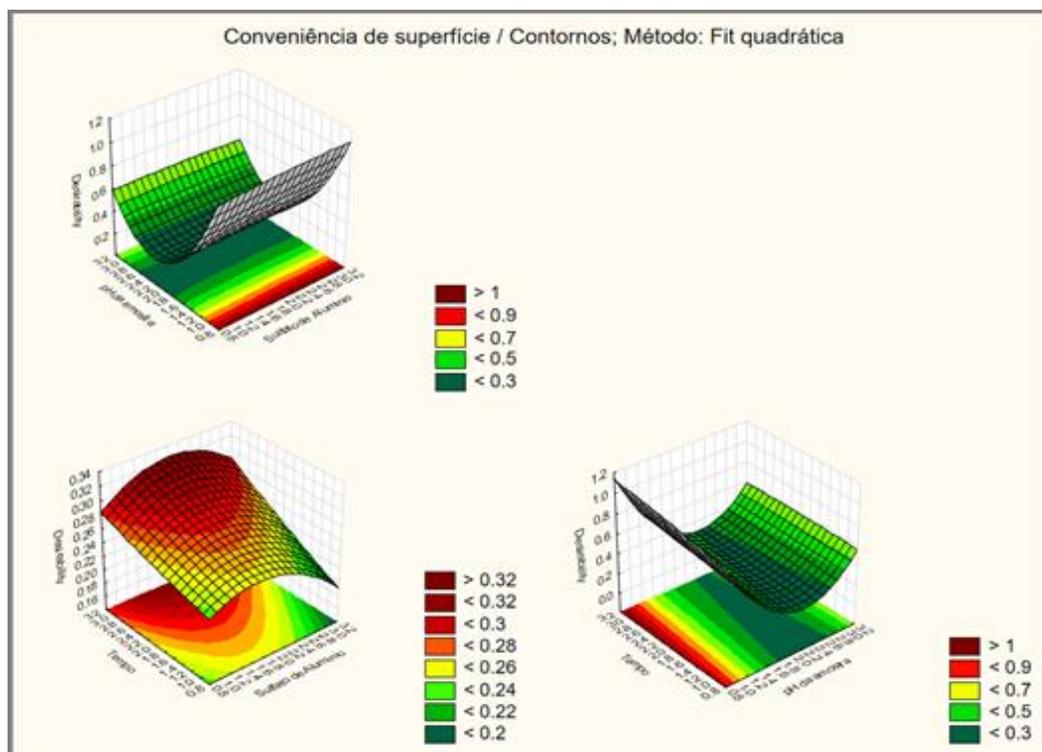


Figura 14 - Gráficos de superfície de resposta para o coagulante B.

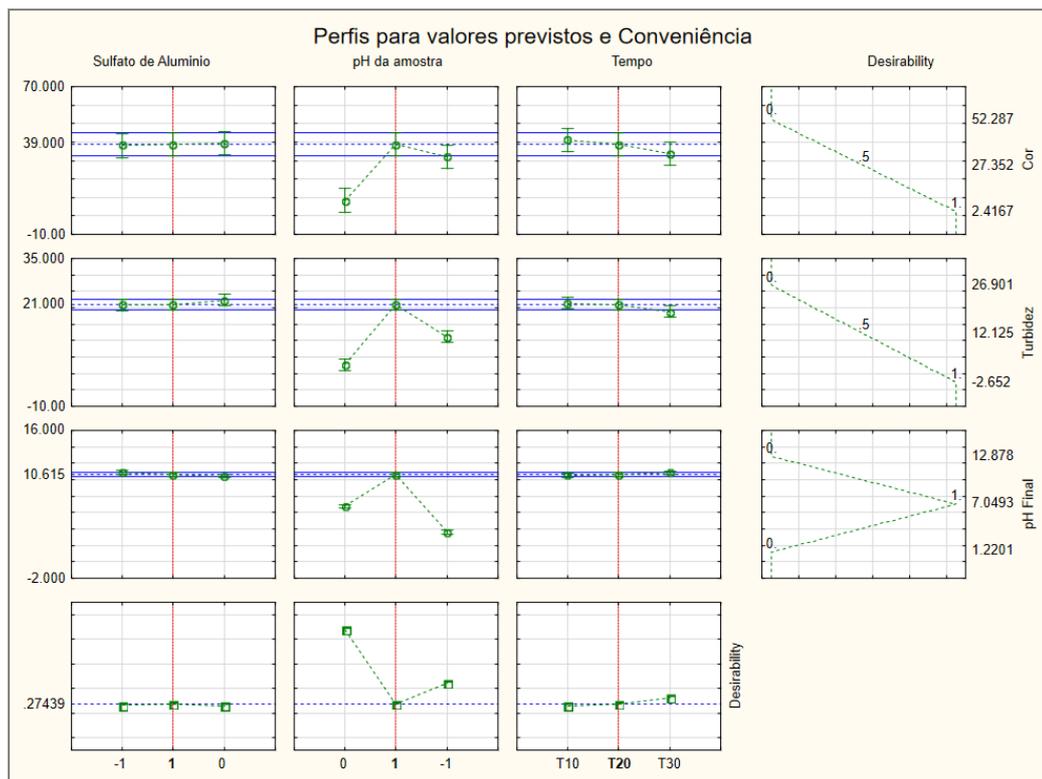


Figura 15 - Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados, para o coagulante B.

Na Figura 13, observa-se que o valor de “p” é menor que 0,05 apenas para as variáveis pH da amostra e tempo, considerando um nível de significância de 5%. Implicando para esses fatores que os mesmos apresentaram diferenciação relevante (acima de 5%) nas médias das variáveis de resposta.

Na Figura 14, os gráficos de superfície, em que as interações entre as variáveis que apresentaram significância ocorreram apenas entre as variáveis pH da amostra e tempo isoladamente, ou seja, não houve interação entre essas variantes.

Na Figura 15, o ponto “desejado” (ou seja, de melhor valor) para cada variável de entrada, quando analisadas isoladamente, são o ponto da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 1 (65 mgL^{-1}), o ponto desejado da variável pH foi atingido no valor codificado 1 (10,34) e o ponto desejado do variável tempo ocorreu aos 20 minutos.

Como as variáveis foram consideradas significativas (Figura 15) isoladamente, a estatística difere do que foi apresentado nos gráficos de remoção de cor aparente e turbidez (Gráficos 2 e 4, respectivamente), os ensaios apontados como melhores, não satisfazem essa colocação.

Yugi (2015), em estudo que também avaliou o coagulante sulfato de alumínio, obteve como ponto desejado a concentração de 35 mgL^{-1} e pH 7,0 para o tempo de 23 minutos. Para o tempo, houve similaridade com este estudo, conforme citado anteriormente.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que o coagulante Tanfloc SG constitui uma alternativa em potencial promissora para tratamento de água, em substituição ao coagulante inorgânico sulfato de alumínio. O coagulante orgânico Tanfloc SG para remoção do parâmetro cor aparente, teve melhor desempenho comparado ao sulfato de alumínio. Os melhores ensaios 9 e 18, para o Tanfloc SG, com respectivamente os tempos de sedimentação 20 e 30 minutos, onde a remoção da cor aparente chegou a 100%.

Apesar da etapa da filtração não ter sido realizada, em se tratando do atendimento a legislação vigente (Portaria 2914/2011) para esse coagulante, os ensaios 7, 8, 9, 16, 17 e 18, após o tratamento, está dentro do limite estabelecido pela Portaria 2914/2011, a qual coloca como valor máximo 15uH.

Para o parâmetro turbidez, em todos os ensaios, ao final do processo de sedimentação para o coagulante Tanfloc SG, apresentaram remoção de pelo menos 40% de turbidez. Sendo que os ensaios 7, 8, 9, 16, 17 e 18, atenderam a Portaria 2914/2011, que determina como valor máximo para a turbidez, 5 uT.

Para o pH, a maior eficiência obtida para remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez para o Tanfloc SG, ocorreram em pH básico, conforme apontado pela estatística aplicada. Constatou-se que o coagulante orgânico apresentou uma variação pouco significativa no parâmetro pH, apesar de ter havido variação.

A estatística, apontou que o Tanfloc SG, apresentou maiores interações entre as variáveis, confirmando as análises feitas anteriormente. Para esse coagulante o ponto tido como “desejado”, foi atingido com a concentração de 65mgL^{-1} , para o pH de 10,34, com tempo de sedimentação aos 10 minutos. Em contrapartida, o comportamento observado para o sulfato de alumínio diferenciou-se do Tanfloc SG apenas no tempo de sedimentação, o qual foi apontado como melhor tempo 20 minutos. Na estatística, o sulfato de alumínio não considerou importante a interação entre as variáveis.

Como sugestão de continuação desse trabalho, um estudo poderia ser realizado para avaliar de modo comparativo, o custo do coagulante orgânico e inorgânico para tratamento de água.

REFERÊNCIAS

- Acqua Química. **Boletim Informativo**. Estância Velha – RS. Brasil, 2008.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed. Washington, 2012.
- BARROS, M. V. F.; ARCHELA, R. S.; BARROS, O. N. F., et al.; **Atlas Ambiental de Londrina**. Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: . Acesso em 19.ago.2015
- BOMFIM, A. P. S.; **Avaliação dos coagulantes Tanfloc em comparação aos coagulantes inorgânicos a base de alumínio no tratamento de água**. Dissertação de mestrado. 2015. 192 f. Universidade de Ribeirão Preto Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnológicas, Ribeirão Preto, 2015
- BONGIOVANI, Milene C. et al. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável**. Acta Scientiarum. Technology. Maringá, v.32, n. 2, p. 167-170, 2010.
- BORTOLO, Carlos. **O lago Igapó e o espaço urbano londrinense: uma reflexão acerca dos diferentes agentes produtores**. Londrina. 2009.
- BRANDÃO, L. A. M. P. **Melhoria da qualidade da água em bacia de decantação de uma mina de ferro – S. A. Mineração da Trindade**. Samitri. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA Nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 10. Set. 2015.
- BRASIL. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Legislação para águas de consumo humano**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO Nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 15. Set. 2015\
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2011). **Atlas do Saneamento Básico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.sh>. Acesso em 20 de abril de 2015.

CABREIRA, Roberto Braz Aparecido. **Uso da terra e assoreamento, Lagos Igapó-Londrina/PR**. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1992

CAMARGO, Antonio; PEREIRA, Alaxandre. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: Editora: UNESP, 2003.

CARVALHO, Maria J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CAMPOS, S. X., DI BERNARDO, L., VIEIRA, E. M. **Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 10, 3, 194-199, 2005

CORALA, L. A., BERGAMASCO, Rb., BASSETTIC, R. F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo**. 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production, 2009.

CRUZ, João G. H. **Alternativas para aplicação de Coagulante Vegetal á Base de Tanino no Tratamento do Efluente de uma Lavanderia Industrial**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DEZOTTI, MARCIA. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. 2008.

DI BERNARDO, L (1993). **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. 1. Rio de Janeiro: ABES.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.S., HELLER, L., **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Prosab, 1999b.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A.D.B., 2005, **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**, 2ª ed. V. 1. São Carlos, RiMa.

Enviromental Protection Agency. **A Água Trata**. 2005.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP. 575p., 1985.

FILHO, A. M. & BRANCO, Z. C., **Água, Tratamento e Qualidade**, Rio de Janeiro, RJ, Livro Técnico S.A., 1964.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo**

humano. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, b, v. 2.

FREITAS, Marcelo Bessa de; BRILHANTE, Ogenis Magno; ALMEIDA, Liz Maria de. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio**. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001

INSTITUTO AGRONÔMICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1994. 49 p. ilustr. (IAPAR, Documento, 18).

KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

LEAL, F. C. T., & LIBÂNIO, M. **Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 7(3), 2002.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LORENZO, M. P. **Caracterização dos impactos ambientais negativos e medidas mitigatórias do processo de assoreamento do lago Igapó, Londrina – PR**. Trabalho de Conclusão de curso. UNIFIL, 2011.

MCLACHLAN, C. R. D., **Aluminium and the risk for Alzheimer Disease**. *Environ.*, V.6, 233–275, 1995.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação e ultrafiltração para produção de água potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MORAES, L. C. K. **Estudo dos processos de coagulação e floculação seguido de filtração com membranas para obtenção de água potável**, Dissertação D.Sc. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2009.

OLIVEIRA, M. F. **Condicionantes sócio-ambientais urbanos da incidência da dengue na cidade de Londrina/Pr**. Curitiba, 2005. 171p. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná.

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

LONDRINA. **Secretaria de Planejamento do município de Londrina. Plano municipal de saneamento básico do município de Londrina**. Londrina, Pr. 2015.

REBOUCAS, Aldo da C. **Água e desenvolvimento rural**. São Paulo, v. 15, n. 43, p. 327-344, 2001 .

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **de Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991. 332 p.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS FILHO, Jesuíno D.; RITA, Edmundo S. S.. **Gerenciamento do Resíduo Gerado na Clarificação de Água da RLAM**. Salvador, BA, 2002.

SCALCO, A. V., RAÑA, B. S., BALDIN, M. G.; BATISTA, L. F. A. **Diagnostico da ocupação irregular de áreas de APPs no entorno dos Lagos Igapó I e II e suas consequências para a população de Londrina –PR**, Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

SILVA, Telma S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em águas de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, Juliano Lopes. **Rios de Londrina: um olhar geográfico no (per) correr das águas pela cidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/rios-de-londrina-um-olhar-geografico-no-percorrer-das-aguas-pela-cidade/77279/>>. Acesso em 2 fev 2016.

Siqueira , M. E. T. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-Piloto)**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2009.

SOARES, Sérgio RA, Ricardo S. BERNARDES, and Oscar de M. CORDEIRO NETTO. **Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento**. Cad. Saúde Pública 18.6, 2002

TANAC. **Boletim Informativo**. Montenegro – RS. Brasil (2008).

PARANÁ. Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente – Surehma (1991). Portaria nº 003 de 21 de março de 1991. **Diário Oficial Estadual**. Poder executivo, Curitiba, PR, 21 mar. 1991. Disponível em: <<http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/enquadramento-b-pirapo.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

TAVARES, F. J; BARBOSA, G. M.C.; RIBON, A. A. **Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge**. Rev. Bras. Ciênc. Solo, 2010.

TORRES, D. A. G. V. CHIEFFI P.P.; COSTA W. A.; KUDZIELICS E. **Giardíase em creches mantidas pela prefeitura do município de São Paulo**, 1982/1983. Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo, v.33, p. 137- 141, 2000.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA cafezal**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

UNESCO. **Water for a Sustainable World, 2015**. Disponível em:

<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>

Acesso em: 25 Set 2015

VAZ, Luiz G. de L.. **Performance do Processo de Coagulação/Floculação no Tratamento do Efluente Líquido Gerado na Galvanoplastia**. Toledo, PR, 2009.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed . Minas Gerais, Belo Horizonte:Editora UMFG, 2005.

YUGI HIGASHI, V. **Uso de Coagulantes Químico e Orgânico no Tratamento de Águas Provenientes de Sistema Lântico. Estudo de caso: Lago Igapó II**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

APÊNCIDE A

Tabela A.1: Resultados, após tratamento – Tanfloc SG

Ensaio	Tanfloc SG				pH			Turbidez (uT)			Cor (uH)		
	pH codificado	pH	Concentração codificada	Concentração (mgL-1)	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
4	0	7,06	-1	25	6,9	6,82	7,34	10,9	8,67	8,42	42	37	27
18	1	10,34	1	65	9,14	9,24	9,24	1,88	1,7	1,52	8	1	0
8	1	10,34	0	45	9,24	9,22	9,3	2,72	1,97	1,67	3	1	0
15	0	7,06	1	65	7	7,07	7,35	12,1	9,52	9,08	58	47	37
17	1	10,34	0	45	9,24	9,29	9,15	2,77	1,86	1,56	7	1	9
7	1	10,34	-1	25	9,2	9,21	9,3	4,57	3,4	2,77	10	8	6
1	-1	4,00	-1	25	3,63	3,56	3,57	14	13,2	10,8	35	39	35
3	-1	4,00	1	65	3,63	3,55	3,54	12,6	12,5	10,8	38	42	37
14	0	7,06	0	45	6,93	7,17	7,43	10,5	8,88	9,24	54	44	33
12	-1	4,00	1	65	3,59	3,56	3,59	12,2	12,2	10,5	36	39	35
2	-1	4,00	0	45	3,61	3,58	3,55	13,2	12,2	10,5	35	40	34
10	-1	4,00	-1	25	3,61	3,56	3,56	11,7	12,4	10,5	33	35	33
11	-1	4,00	0	45	3,57	3,57	3,56	12,5	11,6	10,4	34	36	34
16	1	10,34	-1	25	9,28	9,33	9,34	4,11	3,28	2,99	18	5	4
9	1	10,34	1	65	9,21	9,24	9,22	2,39	1,66	1,61	1	0	4
13	0	7,06	-1	25	6,99	7,24	7,46	9,61	7,86	8,09	49	32	26
5	0	7,06	0	45	7,01	7,3	7,49	9,84	8,48	8,45	46	35	33
6	0	7,06	1	65	6,99	7,28	7,48	9,85	9,3	9,07	50	38	37

Tabela A.2: Eficiência de cor aparente e turbidez; variação de pH, após tratamento – Tanfloc SG

Ensaio	Tanfloc SG				Cálculo da Eficiência: Cor aparente (uH)			Cálculo da Eficiência: Turbidez (uT)			Variação de pH (%)		
	pH codificado	pH	Concentração codificada	Concentração (mgL-1)	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
4	0	7,06	-1	25	40,85	47,89	61,97	56,57	65,46	66,45	3,63	3,56	3,57
18	1	10,34	1	65	88,73	98,59	100,00	92,51	93,23	93,94	3,61	3,58	3,55
8	1	10,34	0	45	95,77	98,59	100,00	89,16	92,15	93,35	3,63	3,55	3,54
15	0	7,06	1	65	18,31	33,80	47,89	51,79	62,07	63,82	6,90	6,82	7,34
17	1	10,34	0	45	90,14	98,59	87,32	88,96	92,59	93,78	7,01	7,30	7,49
7	1	10,34	-1	25	85,92	88,73	91,55	81,79	86,45	88,96	6,99	7,28	7,48
1	-1	4,00	-1	25	50,70	45,07	50,70	44,22	47,41	56,97	9,20	9,21	9,30
3	-1	4,00	1	65	46,48	40,85	47,89	49,80	50,20	56,97	9,24	9,22	9,30
14	0	7,06	0	45	23,94	38,03	53,52	58,17	64,62	63,19	9,21	9,24	9,22
12	-1	4,00	1	65	49,30	45,07	50,70	51,39	51,39	58,17	3,61	3,56	3,56
2	-1	4,00	0	45	50,70	43,66	52,11	47,41	51,39	58,17	3,57	3,57	3,56
10	-1	4,00	-1	25	53,52	50,70	53,52	53,39	50,60	58,17	3,59	3,56	3,59
11	-1	4,00	0	45	52,11	49,30	52,11	50,20	53,78	58,57	6,99	7,24	7,46
16	1	10,34	-1	25	74,65	92,96	94,37	83,63	86,93	88,09	6,93	7,17	7,43
9	1	10,34	1	65	98,59	100,00	94,37	90,48	93,39	93,59	7,00	7,07	7,35
13	0	7,06	-1	25	30,99	54,93	63,38	61,71	68,69	67,77	9,28	9,33	9,34
5	0	7,06	0	45	35,21	50,70	53,52	60,80	66,22	66,33	9,24	9,29	9,15
6	0	7,06	1	65	29,58	46,48	47,89	60,76	62,95	63,86	9,14	9,24	9,24

Tabela A.3: Resultados, após tratamento – Sulfato de alumínio.

Sulfato de Alumínio					pH			Turbidez (uT)			Cor (uH)		
Ensaio	pH codificado	pH	Concentração codificada	Concentração (mgL-1)	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
4	0	7,06	-1	25	6,71	6,59	6,99	9,91	3,64	1,68	21	20	9
18	1	10,34	1	65	10,36	10,36	10,82	23	23,1	20,6	51	42	37
8	1	10,34	0	45	10,16	10,83	10,89	23,1	22,9	20,5	43	39	41
15	0	7,06	1	65	6,72	6,93	6,96	6,73	3	1,98	19	6	9
17	1	10,34	0	45	10,67	10,09	10,88	23,9	21,7	19,7	42	40	34
7	1	10,34	-1	25	10,51	10,88	10,9	22,4	21,7	19,7	39	39	37
1	-1	4,00	-1	25	3,62	3,65	3,61	14,3	12,4	10,9	36	32	31
3	-1	4,00	1	65	3,61	3,64	3,67	12,7	11,4	10,4	32	32	31
14	0	7,06	0	45	6,68	6,71	7	5,2	2,52	2,06	13	8	4
12	-1	4,00	1	65	3,63	3,68	3,61	12,5	11,1	8,97	29	32	30
2	-1	4,00	0	45	3,59	3,62	3,61	12,5	11	9,87	29	31	30
10	-1	4,00	-1	25	3,68	3,67	3,68	11,3	10	10	35	31	35
11	-1	4,00	0	45	3,64	3,63	3,64	12	10,8	9,9	31	30	33
16	1	10,34	-1	25	10,82	10,9	10,85	22,8	20,1	20,6	39	37	38
9	1	10,34	1	65	10,69	10,87	10,88	19,8	18,9	17,1	31	36	31
13	0	7,06	-1	25	6,85	6,97	7,05	6,8	3,9	1,21	19	7	5
5	0	7,06	0	45	6,62	6,82	6,97	6,75	2,74	1,49	27	7	6
6	0	7,06	1	65	6,73	6,59	6,93	7,09	2,47	1,94	14	11	6

Tabela A.4: Eficiência de cor aparente e turbidez; variação de pH, após tratamento – Sulfato de alumínio.

Sulfato de Alumínio					Cálculo da Eficiência: Cor aparente (uH)			Cálculo da Eficiência: Turbidez (uT)			Variação de pH (%)		
Ensaio	pH codificado	pH	Concentração codificada	Concentração (mgL-1)	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
4	0	7,06	-1	25	70,42	71,83	87,32	60,52	85,50	93,31	3,62	3,65	3,61
18	1	10,34	1	65	28,17	40,85	47,89	8,37	7,97	17,93	3,59	3,62	3,61
8	1	10,34	0	45	39,44	45,07	42,25	7,97	8,76	18,33	3,61	3,64	3,67
15	0	7,06	1	65	73,24	91,55	87,32	73,19	88,05	92,11	6,71	6,59	6,99
17	1	10,34	0	45	40,85	43,66	52,11	4,78	13,55	21,51	6,62	6,82	6,97
7	1	10,34	-1	25	45,07	45,07	47,89	10,76	13,55	21,51	6,73	6,59	6,93
1	-1	4,00	-1	25	49,30	54,93	56,34	43,03	50,60	56,57	10,51	10,88	10,90
3	-1	4,00	1	65	54,93	54,93	56,34	49,40	54,58	58,57	10,16	10,83	10,89
14	0	7,06	0	45	81,69	88,73	94,37	79,28	89,96	91,79	10,69	10,87	10,88
12	-1	4,00	1	65	59,15	54,93	57,75	50,20	55,78	64,26	3,68	3,67	3,68
2	-1	4,00	0	45	59,15	56,34	57,75	50,20	56,18	60,68	3,64	3,63	3,64
10	-1	4,00	-1	25	50,70	56,34	50,70	54,98	60,16	60,16	3,63	3,68	3,61
11	-1	4,00	0	45	56,34	57,75	53,52	52,19	56,97	60,56	6,85	6,97	7,05
16	1	10,34	-1	25	45,07	47,89	46,48	9,16	19,92	17,93	6,68	6,71	7,00
9	1	10,34	1	65	56,34	49,30	56,34	21,12	24,70	31,87	6,72	6,93	6,96
13	0	7,06	-1	25	73,24	90,14	92,96	72,91	84,46	95,18	10,82	10,90	10,85
5	0	7,06	0	45	61,97	90,14	91,55	73,11	89,08	94,06	10,67	10,09	10,88
6	0	7,06	1	65	80,28	84,51	91,55	71,75	90,16	92,27	10,36	10,36	10,82