

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUANA TONIOLO MUNIZ

**SISTEMA PARA CONTROLE DE TURBIDEZ NA ETAPA DE CAPTAÇÃO EM
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PORTO ALEGRE**

PORTO ALEGRE - RS
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUANA TONIOLO MUNIZ

**SISTEMA PARA CONTROLE DE TURBIDEZ NA ETAPA DE CAPTAÇÃO EM
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal do Rio Grande do Sul como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Rafael Costa Rodrigues
Coorientador: Msc. Ângela Cristina Schirmer Michel (*in memoriam*)

PORTO ALEGRE - RS
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SISTEMA PARA CONTROLE DE TURBIDEZ NA ETAPA DE CAPTAÇÃO EM
UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PORTO ALEGRE**

Luana Toniolo Muniz

Aprovada em: 27/05/2021.

Comissão Examinadora

Professor Dr. Rafael da Costa Rodrigues
Orientador – UFRGS

Professora Dra. Bruna Tischer
Departamento de Tecnologia de Alimentos
UFRGS

Professor Dr. Gustavo Pires Costa
Departamento de Tecnologia de Alimentos
UFRGS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que se faz presente todos os dias através da minha fé, por permitir que esse objetivo fosse cumprido.

Aos meus pais Lenir e Roberto por todo amor, carinho, educação e suporte ao longo da vida - e durante a graduação não foi diferente. Dedico essa conquista a vocês, por acreditarem e apoiarem todos os meus sonhos.

Ao meu noivo Felipe, pelo amor, companheirismo e incentivo para completar esse ciclo. Obrigada por ser paciente, compreensivo e carinhoso e tornar esse período mais leve e feliz.

Aos meus amigos de longa data ou conquistados na fase adulta, por compartilharem comigo momentos de alegria. Lembro a amiga e, agora, colega de profissão, Flavia, que além de uma amizade muito especial, me apoiou durante a graduação com diversas trocas de experiências. À Júlia, pelo sentimento fraternal recíproco e por tantos momentos especiais vivenciados.

Aos colegas do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), por me receberem tão bem e auxiliarem no meu crescimento profissional nos últimos 6 anos. Lembro os servidores da Equipe ETA Belém Novo, destaco Larissa e Simoni, e Coordenação das ETAs Sul, Ilo, colegas que dividem comigo a responsabilidade de produzir água potável e adequada a demanda dos moradores do Extremo Sul de Porto Alegre.

Aos colegas de graduação, sobretudo os formandos de 2020, por dividirem, além de materiais de estudo e muito conhecimento - todas as angústias e planos para o futuro profissional. Vocês foram essenciais à minha formação, sobretudo nos períodos de dificuldade, quando não pude acompanhar as aulas por conta do regime de trabalho de turno.

À UFRGS, pelo ensino gratuito e de qualidade, e os professores do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela dedicação com os alunos e tantos ensinamentos transmitidos. Lembro, especialmente, o professor Dr. Rafael Costa Rodrigues, por aceitar ser meu orientador e, durante a graduação, ser exemplo e aconselhar os alunos. À professora Ma. Ângela Cristina Schirmer Michel (*in memoriam*), coorientadora deste trabalho, que durante o pouco tempo de convívio demonstrou ser uma pessoa maravilhosa e muito competente - lá do Céu está olhando por todos nós.

RESUMO

A água, além de ser essencial a todas as formas de vida, é considerada um patrimônio do planeta e direito universal de todos. Diversas operações unitárias são empregadas para garantir a potabilidade da água captada no manancial e o controle do processo é determinante para a produção de água segura à população. Com o avanço da tecnologia, sistemas automatizados ganharam maior visibilidade e importância, já que representam um avanço para a gestão dos recursos hídricos, bem como redução de custos da operação a longo prazo. Este trabalho apresenta o diagnóstico de automação da etapa de adução e clarificação em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e tem como objetivo propor melhorias em Instrumentação e Controle, a fim de otimizar a operação da ETA e fornecer dados em tempo real aos operadores para auxiliar nas ações de forma antecipativa. O projeto inclui a instalação de instrumentos como sensor analítico de turbidez nas duas captações de água bruta com envio das informações a um controlador, que por sua vez computa os sinais de entrada em um supervisor desenvolvido para a ETA, através de conexão por Ethernet. Na mesma ferramenta de visualização dos dados de processo é apresentada a dosagem de coagulante aplicada e possibilidade de alteração da mesma a partir do emprego de um inversor de frequência para alterar a rotação do motor acoplado a bomba dosadora. A fim de garantir a quantidade ideal de coagulante para a turbidez da água bruta visualizada e vazão empregada, é proposto o uso de um analisador de cargas, instrumento que mede a carga elétrica residual da água - diferença entre a carga positiva do coagulante e a carga negativa das partículas coloidais. A aplicação do projeto visa qualificar a operação da Estação de Tratamento de Água responsável pelo abastecimento de 16% da população porto-alegrense e localizada em uma região com potencial de expansão imobiliária.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Água. Instrumentação e Controle. Coagulação.

ABSTRACT

Water, besides being essential to all life forms, is considered a heritage of Earth. Many unitary operations are used to ensure the potability of the water captured in the source and the control of the process is crucial for the production of safe water for the population. With the technology advance, automated systems attracted more importance and visibility, as they represent an advance for the management of water resources, as well as a reduction in long-term operation costs. This study presents the automated diagnostic system of the adduction and clarification stage at a Water Treatment Plant and aims to propose improvements in Control and Instrumentation, in order to optimize the operation of the WTP and provide real time data to operators act in advance. The project proposes the installation of instruments such as a turbidity sensor in the two raw water catchments with the transmission of information to a controller, which computes the input signals in a supervisory developed for WTP, through an Ethernet connection. In the same process data visualization tool, the applied coagulant dosage and the possibility of changing it, by using a frequency inverter to change the rotation of the motor coupled to the dosing pump, are presented. In order to ensure the ideal amount of coagulant for the turbidity of raw water and flow used, it is proposed to use a streaming current detector, an instrument that measures the residual electrical charge of the water - difference between the positive charge of the coagulant and the negative charge of colloidal particles. The project aims to qualify the operation of the Water Treatment Station responsible for supplying 16% of the Porto Alegre's population and located in a region with potential for real estate expansion.

Keywords: Water Treatment Station. Control and Instrumentation. Coagulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Fluxograma genérico de um sistema de tratamento de água	15
Figura 3.2 Processo de coagulação e floculação a partir da adição de produtos químicos	16
Figura 3.3 Decantador de manta de lodo da Estação de Tratamento de Água.....	18
Figura 3.4 Filtro da Estação de Tratamento de Água.....	19
Figura 3.5 Análises de turbidez elevada da água bruta da ETA Belém Novo em 2020..	22
Figura 3.6 Arquitetura de componentes para sistemas de automação	23
Figura 3.7 Representação de planta gerenciada por um sistema SCADA	24
Figura 3.8 Representação de uma malha de controle fechada	25
Figura 3.9 Funcionamento do controlador lógico programável.....	27
Figura 4.1 Bomba dosadora de diafragma	28
Figura 4.2 Turbidímetro portátil.....	29
Figura 5.1 Analisador de turbidez de processo	30
Figura 5.2 Controlador SC 1000	31
Figura 5.3 Funcionamento de um inversor de frequência	32
Figura 5.4 Princípio de funcionamento do analisador de cargas	33
Figura 5.5 Analisador de cargas e controlador.....	33
Figura 5.6 Diagrama P&ID EBAB	34
Figura 5.7 Diagrama P&ID ETA.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
EBAB	Estação de Bombeamento de Água Bruta
ETA	Estação de Tratamento de Água
Cl	Cloro
CLP	Controlador Lógico Programável
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgotos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
g	Gramas
H	Hidrogênio
IHM	Interface Homem-Máquina
L	Litros
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
mA	Miliampere
mg	Miligramas
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
O	Oxigênio
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
psi	<i>pound force per square inch</i>

P&ID Diagrama de tubulação e instrumentação

s Segundos

SDCD Sistema Digital de Controle Distribuído

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SCD *Streaming Current Detector*

SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*

V Volts

°C Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Tratamento de água e saúde pública	14
3.1.1 Etapas do processo de tratamento de água.....	15
3.1.1.1 Captação de água bruta	15
3.1.1.2 Coagulação e floculação	15
3.1.1.3 Sedimentação	17
3.1.1.4 Filtração	18
3.1.1.5 Desinfecção.....	19
3.1.1.6 Fluoretação.....	20
3.1.1.7 Reservação e distribuição.....	20
3.2 Turbidez da água bruta e o impacto na coagulação	20
3.3 Sistemas de automação	22
3.4 Instrumentação e Controle	24
3.4.1 Dispositivos empregados nas malhas de controle	25
3.4.1.1 Elementos primários de medição	25
3.4.1.2 Transdutores e conversores	26
3.4.1.3 Transmissores.....	26
3.4.1.4 Indicadores	26
3.4.1.5 Controladores.....	27
3.4.1.6 Elementos finais de controle	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 Caracterização operacional da ETA	28
4.2 Método de análise de turbidez empregado na ETA	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Descrição do projeto	30
5.1.1 Implantação do sensor analítico de turbidez de água bruta	30
5.1.2 Implantação da dosagem e controle de coagulante por instrumentação	31
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a água é essencial a vida de todo ser humano, animal e vegetal e faz parte do patrimônio do planeta (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2017). Em 1992, a Organização das Nações Unidas (ONU) redigiu a Declaração Universal dos Direitos da Água, documento que reúne as medidas necessárias para zelar por essa riqueza. Dentre as observações do texto, destaca-se que o equilíbrio e o futuro da Terra dependem do uso correto e preservação da água e seus ciclos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1992).

Conforme a mesma organização, aproximadamente 54% da população mundial não tem acesso a saneamento básico - que compreende o abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, drenagem urbana e coleta de resíduos sólidos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020). A fim de modificar esse quadro, em 2012, os países membros da ONU foram convocados a construir uma série de propósitos visando o desenvolvimento sustentável, conhecido como Agenda 2030 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2017). Um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destaca a necessidade de assegurar o acesso universal a água potável até 2030, dentre outras metas.

No contexto nacional, dados apontados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 83,7% da população brasileira possui acesso ao serviço de abastecimento de água. Dados mostram que no Estado do Rio Grande do Sul, a proporção aumenta para 98,7% (BRASIL, 2019).

Ainda, estes dados nos mostram que o consumo médio de água por dia é de 153,9 litros/habitante, de acordo com o SNIS. Tal dado é de grande relevância para a gestão dos recursos hídricos, a fim de auxiliar a Administração Direta, Autarquias e empresas privadas do setor na coordenação de ações para minimizar perdas. Segundo relatório anual do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), o percentual de perdas de água tratada na distribuição em 2019 chegou a 32,04% (DMAE, 2021a).

Para que essa gestão seja melhorada, algumas ferramentas podem e devem ser utilizadas. Uma das possibilidades é o controle de processos, que é um recurso essencial para aumentar a eficiência de uma operação, seja para maximizar resultados ou manter variáveis de interesse constantes (FRANCHI, 2011).

No âmbito do saneamento, a automação - integrada a partir de melhorias em instrumentação em controle - em sistemas de abastecimento de água e esgoto proporciona avanços na gestão dos recursos hídricos e contribui para a redução de custos operacionais (SOUZA, 2006).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi propor melhorias em instrumentação e controle na etapa de adução e clarificação de água em uma Estação de Tratamento de Água no município de Porto Alegre.

2.2 Objetivos Específicos

- Propor a instalação de um medidor de turbidez de água bruta nas duas captações de uma Estação de Bombeamento de Água Bruta e transmitir os dados a um sistema integrado de supervisão;
- Propor o controle de dosagem de coagulante Policloreto de Alumínio na etapa de coagulação através de um sistema integrado de supervisão;
- Propor a instalação de um analisador de cargas para monitorar a dosagem de coagulante Policloreto de Alumínio.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento de água e saúde pública

Os primeiros sistemas públicos de abastecimento de água foram desenvolvidos pela civilização romana com a construção de aquedutos, entre 300 a.C. e 300 d.C. As descobertas acerca da importância da coagulação e filtração contribuíram para o desenvolvimento de sistemas mais modernos e em maior escala. No início do século XX, nos Estados Unidos, ocorreu a primeira aplicação de cloro como agente oxidante no tratamento de água, insumo até hoje utilizado na etapa de desinfecção (FILHO, 2017).

A história do saneamento no Brasil teve início com a escavação do primeiro poço para abastecimento de água na cidade do Rio de Janeiro, proposto por Estácio de Sá, em 1561. Em 1880, na cidade de Campos, Rio de Janeiro, foi inaugurada a primeira Estação de Tratamento de Água a nível mundial, composta por filtros rápidos de pressão ar/água. Em Porto Alegre -RS, a ETA Moinhos de Vento foi precursora no tratamento de água com filtros rápidos por gravidade, em 1920, a partir de tecnologia criada em Chicago, nos Estados Unidos (ROCHA, 2018).

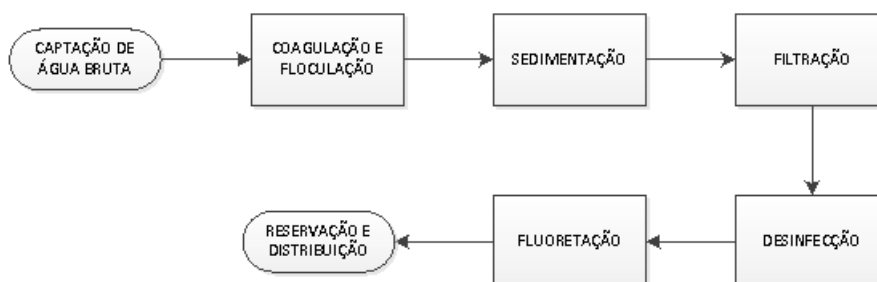
Todos os avanços e investimentos no setor de saneamento ao longo do tempo estão diretamente relacionados à diminuição de doenças por veiculação hídrica. Conforme o Painel Saneamento Brasil, em 2018 foram registrados 2180 óbitos no país relacionados a doenças como febre tifóide, cólera, giardiose, diarreia, hepatite infecciosa, dentre outras (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021). O tratamento de água é essencial à saúde humana, visto que a contaminação deste alimento por um agente patogênico pode atingir muitas pessoas em um curto espaço de tempo.

Com o objetivo de definir os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como o padrão de potabilidade de águas provenientes de sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água, o Governo Federal emitiu a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), documento que elenca todos os parâmetros que devem ser atendidos no âmbito nacional, estadual e municipal.

3.1.1 Etapas do processo de tratamento de água

As operações unitárias empregadas no tratamento de água dependem da característica do manancial e seus contaminantes. A Figura 3.1 contempla o fluxograma genérico dos processos utilizados em uma Estação de Tratamento de Água:

Figura 3.1: Fluxograma genérico de um sistema de tratamento de água



Fonte: Adaptado de (DMAE, 2021c)

3.1.1.1 Captação de água bruta

O manancial utilizado para captação de água bruta do projeto é o Lago Guaíba, que integra, junto dos rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí, a Bacia Hidrográfica com o mesmo nome. A carga poluidora provém, sobretudo, de esgotos domésticos não tratados ou parcialmente tratados, além de efluentes agrícolas ou oriundos das indústrias (DMAE, 2021b).

3.1.1.2 Coagulação e floculação

As águas superficiais naturais podem apresentar sólidos em suspensão totais (SST) ou compostos dissolvidos - ambos podem ser orgânicos, como bactérias e vírus ou inorgânicos como óxidos metálicos, argila e minerais (KERRY, 2016).

O processo de coagulação tem o objetivo de desestabilizar as partículas suspensas - denominadas coloides - no meio líquido, a partir da adição de coagulante à água, assim como pode atuar pela adsorção das substâncias hidrolisadas aos fragmentos coloidais (KAMIWADA; ANDRADE; REIS, 2020).

Conforme Filho (2017), os sais de ferro e alumínio são amplamente utilizados na

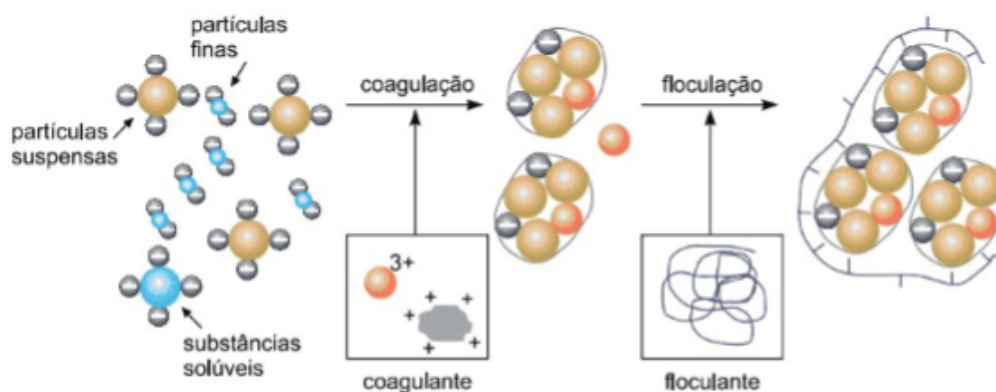
etapa de coagulação do tratamento de água e a escolha do insumo depende do custo e eficiência do processo.

A associação das moléculas desestabilizadas pela ação do coagulante e subprodutos formados pela precipitação é conhecida como floculação. O conjunto de flocos formados pode ser removido por outras operações unitárias, como a sedimentação por gravidade e/ou filtração (KERRY, 2016).

Além disso, polímeros de cadeia longa - neutros, catiônicos ou aniônicos - podem ser utilizados como auxiliares de coagulação, de modo a reduzir os custos de processo e melhorar a sedimentação a partir da estruturação dos flocos em cadeias, tornando-os mais pesados (BITTENCOURT, 2014).

A figura abaixo exemplifica a ação de coagulantes e floculantes na água:

Figura 3.2: Processo de coagulação e floculação a partir da adição de produtos químicos



Fonte: Kurita (1999) apud Cagliari (2018)

O incremento de sólidos em suspensão na água bruta, detectado através do aumento da turbidez, leva a uma ação corretiva de acréscimo de coagulante para clarificar a água. A dosagem do produto é feita a partir de bombas dosadoras dimensionadas para o projeto da estação.

As bombas mais empregadas em sistemas de dosagem são conhecidas como bombas de deslocamento positivo - equipamentos que possuem como característica não alterar a vazão de trabalho em diferentes pressões e podem ser classificadas como bombas alternativas ou rotativas (FILHO, 2018).

O controle de dosagem do coagulante pode ser feito de forma manual, com alteração do sistema de regulação pelo operador da ETA, bem como de forma automatizada, a partir da alteração de rotação do motor com o uso de um inversor de frequência.

A floculação da ETA citada ocorre a partir da adição do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC) junto à Calha Parshall e o fluido escoava pelas tubulações e câmaras até chegar ao decantador, provocando a redução de velocidade durante o deslocamento. O insumo Poliacrilamida - polieletrólito não iônico - é utilizado como auxiliar de coagulação em condições de aumento de turbidez da água bruta.

A padronização do uso de Policloreto de Alumínio e Poliacrilamida de acordo com a turbidez da água captada foi objeto de pesquisa na Estação de Tratamento de Água Belém Novo. Para valores de turbidez até 50 NTU, observou-se que a dosagem de coagulante necessária é 18 mg/L, enquanto que para a faixa de turbidez entre 50 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) e 100 NTU a dosagem mais econômica é de 21 mg/L. Acima de 100 NTU os resultados satisfatórios indicaram a dosagem de 24 mg/L. Em relação ao auxiliar de coagulação, a concentração de 0,2 mg/L de solução demonstrou resposta adequada para amostras de água bruta com turbidez acima de 100 NTU (CAGLIARI, 2018).

3.1.1.3 Sedimentação

A remoção de partículas sólidas através da sedimentação é um processo usual nas estações de tratamento de água. De modo geral, as forças gravitacionais atuam para separar e assentar as moléculas com densidade maior que a da água, operação denominada decantação. Os decantadores convencionais de fluxo horizontal são altamente empregados em plantas de tratamento de água e efluentes devido a simplicidade de instalação, alta produtividade e capacidade de operação frente a sobrecarga de sólidos (RICHTER, 1991).

Os decantadores de manta de lodo ou floco-decantadores representam uma alternativa para plantas de tratamento com pouco espaço físico, visto que as operações unitárias de floculação e decantação são conduzidas na mesma unidade.

O sistema combina a sedimentação laminar por contato em manto de lodo e pulsação, a partir da alimentação de água floculada pela base com velocidade ascensional. A água floculada penetra na parte inferior - defletores - das placas paralelas inclinadas 60° acima da horizontal, que atuam como suportes ou sistemas que criam movimentos de vórtice. As mesmas placas são responsáveis por manter alta a concentração de lodo, aumentando a concentração de sólidos e, conseqüentemente, reduzindo a distância entre as partículas em suspensão e aumentando o tempo de retenção das moléculas no manto

de lodo (CAVAZZANA; MATSUMOTO; LIBÂNIO, 2008). A figura abaixo exemplifica a estrutura de um floco-decantador:

Figura 3.3: Decantador de manta de lodo da Estação de Tratamento de Água



Fonte: Autor (2021).

3.1.1.4 Filtração

Mesmo que a etapa de floculação e sedimentação seja eficiente, a turbidez resultante não atinge o padrão de potabilidade, uma vez que ainda encontramos flocos remanescentes suspensos na água e a presença de sólidos interfere no processo de desinfecção subsequente (DAVIS, 2017).

A etapa de filtração é essencial para diminuir a turbidez do efluente, e, além disso, mitigar o risco de ocorrência de protozoários como *Giardia* e *Cryptosporidium* (HELLER et al., 2004). O processo pode ser classificado de acordo com a taxa de filtração: filtros lentos, filtros rápidos e filtros rápidos de alta taxa (FILHO, 2017).

A filtração rápida é a mais empregada em estações de tratamento de água e admite-se o uso de meio filtrante simples camada (areia) e dupla camada (areia e antracito). O uso do carvão ativado como material de filtro é observado em projetos que combinam filtração com adsorção na mesma etapa (KERRY, 2016). Sistemas de filtração rápida com efluente abaixo de 0,5 NTU e operados de maneira correta podem remover e inativar 99% dos cistos de *Giardia*, assim como amostras de água filtrada com turbidez inferior a 0,3 NTU podem alcançar a redução de 99% de oocistos de *Cryptosporidium* (HELLER et al., 2004).

A limpeza dos filtros rápidos ocorre em contracorrente, a fim de proporcionar a expansão do meio filtrante de 25 a 50% (RICHTER, 1991). A descontinuação da carreira

de filtração ocorre quando a turbidez do efluente atinge 0,50 NTU (BRASIL, 2021), em ocasiões em que a perda de carga do processo de filtração é excedida ou após ultrapassar o tempo determinado de carreira do filtro (FILHO, 2017).

Figura 3.4: Filtro da Estação de Tratamento de Água



Fonte: Autor (2021)

3.1.1.5 Desinfecção

Segundo Davis (2017), a desinfecção é essencial ao tratamento de água, de modo a eliminar microrganismos patogênicos e produzir água tratada segura e de qualidade.

A adição de agente desinfetante, além de atuar diretamente no processo, protege o sistema de distribuição, uma vez que a garantia da qualidade microbiológica da água deve ser atendida por toda a extensão da rede de água tratada, com níveis mínimos residuais do produto empregado (FILHO, 2017).

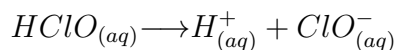
O emprego do cloro como agente desinfetante é largamente adotado pois deixa residual em solução, protegendo o sistema de abastecimento, pode ser encontrado como gás, líquido ou sólido - como é o caso do hipoclorito -, possui baixo custo, tem potencial de destruição da maioria de microrganismos patogênicos e possui alta solubilidade, aproximadamente 7,0 g/L a 20 °C (RICHTER, 1991). Conforme o mesmo autor, em contrapartida, o gás cloro é corrosivo e o seu potencial de intoxicação é elevado, portanto o manejo deve ser realizado com muito cuidado.

De acordo com Kerry (2016), a dissolução de gás cloro na água forma o Ácido

Hipocloroso e Ácido Clorídrico, conforme a equação:



O ácido hipocloroso (HClO) se dissocia rapidamente:



A soma das concentrações de ácido hipocloroso (HClO) e íon hipoclorito ClO^- é o Cloro Residual Livre e esse teor é dependente do pH e temperatura da água. Em pH ácido há maior formação de ácido hipocloroso e em pH alcalino (acima de 7,0) há maior formação de íon hipoclorito. O ácido hipocloroso (HClO), formado na reação do cloro com a água, é um desinfetante mais potente do que o íon hipoclorito (ClO^-), sob mesmas condições de tempo de contato e dosagem.

3.1.1.6 Fluoretação

A água de abastecimento é acrescida de íon fluoreto para prevenir a cárie dentária (DAVIS, 2017). Conforme a Portaria nº 888/2021, a concentração máxima do íon que pode ser adicionada é de 1,5 mg/L.

De acordo com Bittencourt (2014), os compostos mais recomendados para adicionar flúor à água são: Ácido Fluossilícico, Fluoreto de Cálcio, Fluossilicato de Sódio e Fluoreto de Sódio.

3.1.1.7 Reservação e distribuição

A reservação de água constitui uma etapa essencial e determinante para a continuidade do abastecimento de água, visto que garante certa produção em condições de parada emergencial da planta de tratamento e responde às variações de consumo diário de água além de manter a rede de distribuição pressurizada.

A ETA apresentada neste trabalho possui 4500 m³ de reservação, distribuídos em dois reservatórios enterrados que se comunicam e possuem 3 metros de altura.

3.2 Turbidez da água bruta e o impacto na coagulação

A dispersão que o feixe de luz enfrenta ao atravessar a água é indicada pela turbidez. A sigla NTU (Nephelometric Turbidity Unit) representa a unidade de medida de

turbidez pelo método nefelométrico e o resultado do espalhamento da luz é causado pelos sólidos em suspensão (BITTENCOURT, 2014). Conforme Richter (1991), a turbidez da água reduz a eficácia da desinfecção, sobretudo a inativação de vírus.

A metodologia nefelométrica para determinação da turbidez na água é amplamente utilizada em sistemas de tratamento de água e é caracterizada pelo ângulo de 90° do detector que mede a dispersão da luz em relação à incidência da luz. Por conta de sua precisão, aplicabilidade e sensibilidade, é o método padronizado pelo *Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater* (BAIRD et al., 2017).

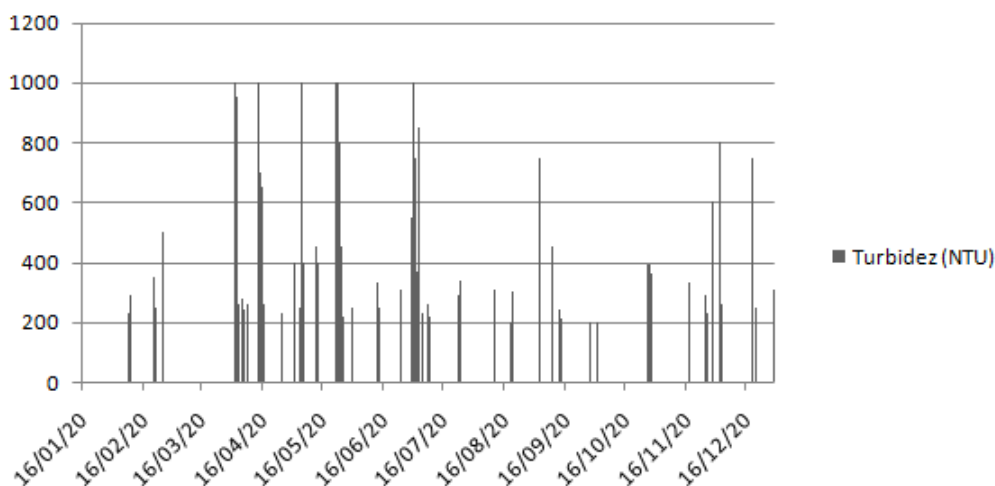
De acordo com Zimmermann (2011), outro método de análise de turbidez bastante empregado em Estações de Tratamento de Água automatizadas envolve o acompanhamento dos dados online por parte do operador, de modo a verificar instantaneamente a variação da medida a partir de eventos meteorológicos, descargas de poluentes a montante, entre outros. Os instrumentos devem possuir sensibilidade para captar o aumento de sedimentos no fluxo de água bruta e evitar o entupimento na linha de amostragem, além de minimizar a interferência de cor na análise.

Poluentes de preocupação humana dispersos na água estão relacionados a turbidez, como resíduos de produtos orgânicos e metais, portanto, a redução desse parâmetro tem influência na garantia da qualidade da água e auxilia na performance do tratamento subsequente (ZAND; HOVEIDI, 2015).

O Plano Municipal de Saneamento Básico (DMAE, 2021d) identifica o Sistema de Abastecimento de Água Belém Novo e a região atendida inclui todo ou em parte os bairros Belém Novo, Chapéu do Sol, Lageado, Restinga, Hípica, Lami, Espírito Santo, Campo Novo, Aberta dos Morros, Ponta Grossa, Lomba do Pinheiro, Agronomia, Cascata e Belém Velho. Segundo o documento, a área de abastecimento expandiu 35% de 2003 a 2014.

Por conta do aumento da população local, a Estação de Tratamento de Água Belém Novo opera, em grande parte do tempo, com a totalidade de sua capacidade nominal, 1000 L/s. Dessa forma, o aumento de turbidez da água bruta compromete o tratamento, sobretudo a coagulação, em razão do aumento de sólidos suspensos na água e dificuldade operacional de sedimentação no decantador com contato em manto de lodo. A figura abaixo expressa as ocorrências de aumento de turbidez da água bruta - patamar entre 200 e 1000 NTU - em 2020:

Figura 3.5: Análises de turbidez elevada da água bruta da ETA Belém Novo em 2020



Fonte: Autor (2021)

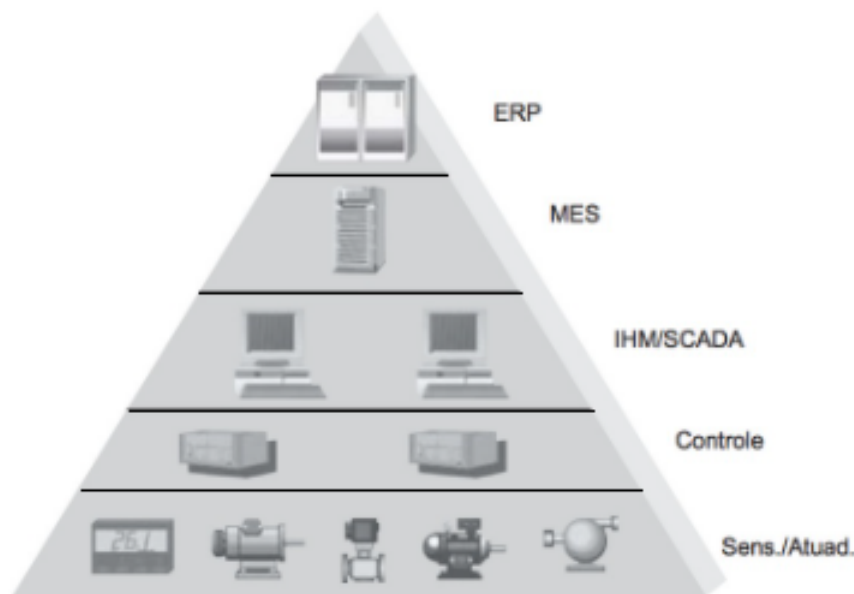
3.3 Sistemas de automação

De modo a otimizar e padronizar os processos industriais a partir do controle de variáveis de forma remota, a automação industrial ganhou destaque nos últimos anos. Os dados de interesse são armazenados em sistemas de computação e comunicação conhecidos como sistemas supervisórios, que por sua vez, podem monitorar e/ou gerenciar variáveis do processo e intermediar a sincronização dos dados de uma estação remota e uma estação supervisória (BRANQUINHO, 2014).

A automação em sistemas de abastecimento de água possibilita melhorias aos processos, a partir da ação de forma autônoma sobre as grandezas da operação e contribui para a gestão das empresas e autarquias, por conta da coleta de dados de forma integrada e hierarquizada (SOUZA, 2006).

Os diferentes níveis de controle em automação podem ser representados pela Pirâmide de Automação Industrial, diagrama que exemplifica - de forma hierárquica - a relação entre as redes de comunicação específicas de um mesmo nível e a interligação com os demais níveis por caminhos de saída para outras redes (SANTOS, 2014).

Figura 3.6: Arquitetura de componentes para sistemas de automação



Fonte: Adaptado de Santos (2014).

Conforme Souza (2006), no primeiro nível de controle encontram-se os dispositivos de campo como sensores, transmissores e atuadores. Tais instrumentos executam a correção da não-linearidade dos equipamentos, além de representarem o meio de acompanhamento das operações da planta.

O 2º nível é composto pelos equipamentos que controlam as variáveis de forma automatizada, a fim de regular os *setpoints* de acordo com o estabelecido. Tal monitoramento é feito através de CLP's (Controlador Lógico Programável), SDCD's (Sistema Digital de Controle Distribuído), relés, inversores de frequência, *soft-starters*, entre outros.

O nível representado pelas siglas IHM (Interface Homem-Máquina) e SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) refere-se ao controle da célula e supervisão dos processos realizados na planta.

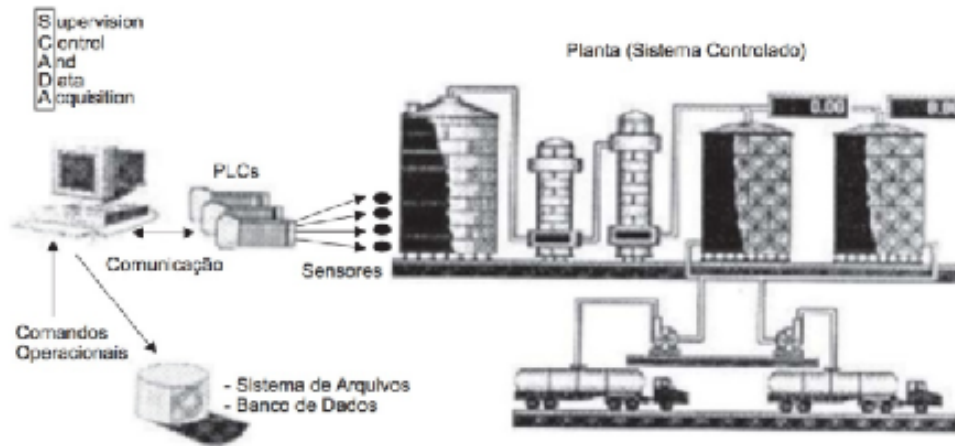
Conforme Branquinho (2014), a supervisão por IHM contempla dispositivos com interação direta entre o usuário e o controlador, como terminais *touchscreen* em campo.

O controle através de sistemas SCADA permitem a leitura e escrita das informações de processo - relativo às grandezas físicas - e o controle por meio de CLP's, por sua vez, formatam esses dados em uma unidade de processamento e disponibilizam ao operador em um sistema de supervisão (SANTOS, 2014). O DMAE possui o Elipse 3, ferramenta SCADA, como sistema de informação relacionado as tecnologias de automa-

ção.

O nível 4, identificado pela sigla MES (*Manufacturing Execution System*) simboliza os sistemas utilizados para interligar os dados gerados nos níveis 1 e 2.

Figura 3.7: Representação de planta gerenciada por um sistema SCADA



Fonte: Santos (2014).

O último nível da hierarquia corresponde ao ERP (*Enterprise Resource Planning*), sistema de informação que organiza dados e processos de diferentes setores de uma empresa - ou várias - em um único local, de modo a aprimorar a facilitar a tomada de decisões e resultar em gestão de recursos mais eficiente.

3.4 Instrumentação e Controle

A instrumentação é parte essencial da automação industrial pois relaciona as variáveis de processo e a transmissão dos resultados ao sistema de controle (SOUZA, 2006).

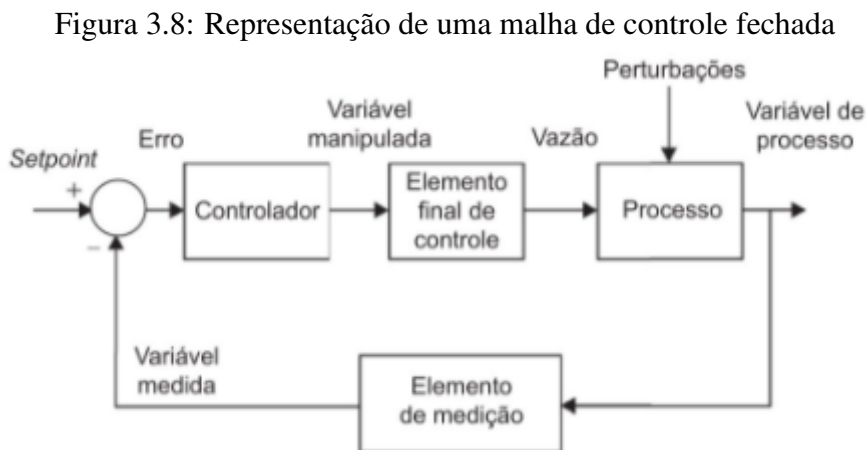
De modo a obter medidas confiáveis das variáveis de interesse, é necessário que o instrumento empregado possa transformar o sinal da variável física, como pressão e temperatura, em um formato suscetível ao sinal da variável de saída, que pode ser tensão, corrente, frequência, resistência, entre outros (FRANCHI, 2015).

A malha de controle - aberta ou fechada - é definida como a representação de todo o sistema de instrumentação e contempla os instrumentos de medida, controle e atuação do processo. Um processo que opera com malha aberta sofre com perturbações externas, além de não possuir o rastreamento do sinal de saída para determinar o sinal de controle

a ser aplicado (SILVA, 2000).

Segundo Franchi (2015), o controle por malha fechada também é chamado de controle *feedback*: ocorre a medida de variável de processo e comparação com o valor desejado - chamado *setpoint* -, resultando em um erro, ou *offset*. O erro, que pode ser positivo ou negativo, é enviado a um controlador para efetuar a correção.

A figura abaixo exemplifica o diagrama de blocos de um controle por malha fechada:



Fonte: Franchi (2017).

3.4.1 Dispositivos empregados nas malhas de controle

Os instrumentos para controle de processos são classificados de acordo com a função que executam em uma malha de controle.

3.4.1.1 Elementos primários de medição

Os elementos primários de medição ou sensores primários, também assim chamados, são elementos passivos - necessitam de fonte externa de energia - responsáveis por assimilar a informação da variável medida e alterar uma de suas propriedades físicas relacionada ao valor captado, a partir da ação de um elemento passivo (CAMARGO, 2014).

3.4.1.2 Transdutores e conversores

Os transdutores são equipamentos eletromecânicos capazes de converter sinais mecânicos em sinais elétricos, a partir da transformação de energia (FIALHO, 2010).

Os conversores são dispositivos que modificam um sinal emitido - por exemplo, analógico - em outro tipo de sinal, como o digital. Tais equipamentos são altamente empregados em controle de processos, de modo a converter um sinal utilizado em atuadores de válvulas a um sinal de corrente ou tensão (FRANCHI, 2015).

3.4.1.3 Transmissores

De acordo com Camargo (2014), tais elementos captam o valor da variável já convertido a um sinal e transmitem ao local de monitoramento remoto. Os sinais transmitidos podem ser elétricos ou pneumáticos e a variação é linear para ambos. Se pneumático, a variação de pressão mais empregada é de 3 a 15 psi. O valor mínimo, 3 psi, equivale a 0%, de modo a calibrar o instrumento corretamente e auxiliar na verificação de vazamento de ar na tubulação, entretanto, é necessário maior investimento para produzir e distribuir o ar comprimido, incluindo a compra de compressores, projeto e execução da linha de transmissão, entre outros.

O sinal de saída para um transmissor elétrico pode ser analógico ou digital. Quando analógico, a modulação em corrente, com limite inferior de 4 mA e limite superior de 20 mA, é isenta a ruídos e interferências e o instrumento pode estar localizado a uma grande distância da fonte de alimentação. Para curtas distâncias e com o ônus de possuir maior sensibilidade a oscilações de tensão e resistência, os transmissores podem ser modulados em tensão, de 0 a 5 V ou 0 a 10 V. O sinal de saída digital inclui a codificação e transmissão em um dos protocolos de redes industriais como o Profibus, Modbus.

3.4.1.4 Indicadores

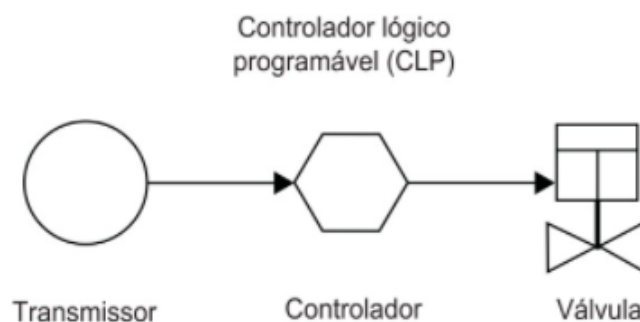
Os indicadores consistem em dispositivos de visualização da variável a ser medida, podendo ser enviada por um transmissor ao sistema de controle. Os instrumentos podem ser analógicos, com ponteiro e escala, ou digitais (FRANCHI, 2015).

3.4.1.5 Controladores

Os controladores possuem grande aplicação na área de instrumentação, visto que recebem os sinais das variáveis de entrada e comparam com o *setpoint*. Após, tem a função de enviar os sinais para os atuadores a partir do processamento segundo uma lógica pré-definida (FILHO, 2014).

O controlador lógico programável (CLP) é um equipamento versátil e que permite a instalação de programas com funções lógicas, matemáticas, de comparação, transporte e armazenamento de dados, além de temporização e monitoramento de processos. Os módulos de entrada do CLP se conectam aos sensores e atuadores do sistema, tais como pressostatos, chaves fim de curso, chaves de níveis, boias ou até mesmo sinais de outros CLPs. Após o processamento, os dados saem do controlador a fim de agir sobre o sistema por meio de contadores ou atuadores, que podem ser elétricos, hidráulicos ou pneumáticos (CAPELLI, 2013). A figura abaixo exemplifica a função do controlador em um processo:

Figura 3.9: Funcionamento do controlador lógico programável



Fonte: Franchi (2015).

3.4.1.6 Elementos finais de controle

De acordo com Franchi (2015), os elementos finais de controle atuam para alterar a variável manipulada a partir do *setpoint*. Atuadores, bombas que regulam fluxo e válvulas que controlam a vazão a partir da obstrução da tubulação são exemplos de instrumentos que relacionam o sistema de controle ao processo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

De modo a propor melhorias em Instrumentação e Controle na Estação de Tratamento de Água Belém Novo, é importante detalhar o diagnóstico atual de automação presente na operação.

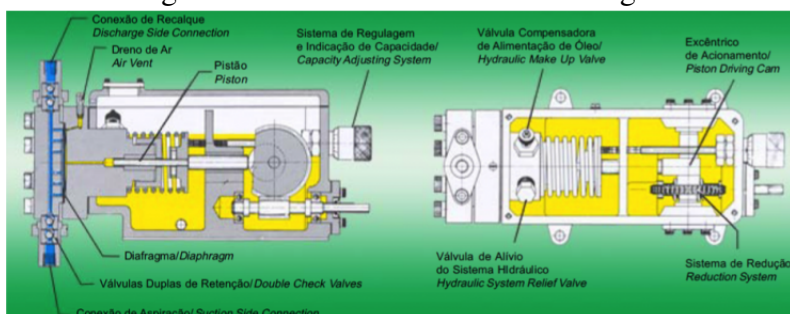
4.1 Caracterização operacional da ETA

A Estação de Tratamento de Água Belém Novo possui licença operacional para produzir até 1000 L/s de água tratada. A captação de água bruta é feita a partir de 04 conjuntos motor-bomba de eixo vertical com motores elétricos 100CV 10P 380/660V, combinados de acordo com a vazão desejada.

O ponto de captação projetado para o início da operação da ETA Belém Novo, datada de 1964, está afastado 150 m da margem do Lago Guaíba. Após as reformas executadas na última década, com o objetivo de ampliar a produção de água da estação, um novo ponto de captação foi inaugurado a 2000 m da margem. Este tinha por finalidade captar água em melhor condição para o tratamento. Por conta de dificuldades operacionais no processo, não foi possível abandonar o ponto de captação a 150 metros da margem - hoje principal responsável pelo aumento de turbidez da água bruta, sobretudo em ocasiões com ventos no quadrante Sul/Sudoeste.

Para correções de dosagem de coagulante em razão do aumento de turbidez da água bruta ou a cada troca de vazão, a bomba dosadora empregada no processo possui um diafragma como elemento conversor de energia, responsável pela admissão e descarga do fluido, conforme representação na figura abaixo (OMEL, 2021):

Figura 4.1: Bomba dosadora de diafragma



Fonte: Omel (2021).

O operador da ETA é responsável pela correção de dosagem do coagulante a partir do ajuste da regulagem no corpo da bomba. A verificação da vazão de injeção do coagulante é feita a partir da cubagem, método utilizado para medir o volume do fluido em proveta graduada em determinado tempo. O valor observado é convertido em dosagem de coagulante (mg/L) a partir de relação matemática utilizando um fator e a vazão da ETA, em L/s.

4.2 Método de análise de turbidez empregado na ETA

A análise de turbidez das amostras de água de processo da ETA Belém Novo segue o método nefelométrico, com a utilização de cubeta de vidro para acondicionar a amostra e realizar a leitura. Seguindo a determinação da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, a amostra de água bruta deve ser analisada a cada duas horas. A Instrução de Trabalho da ETA Belém Novo prevê essa análise no horário estabelecido e sempre que houver indicação de mudança brusca da turbidez. O equipamento disposto no laboratório para análise pode ser visualizado na figura abaixo:

Figura 4.2: Turbidímetro portátil



Fonte: Hach (2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Descrição do projeto

O projeto proposto visa qualificar a operação da Estação de Tratamento de Água Belém Novo, a partir do diagnóstico antecipado de aumento de turbidez da água bruta, em razão das alterações meteorológicas do local, e resposta ao problema com o aumento de dosagem do coagulante. Dessa forma, o projeto pode ser dividido em duas etapas:

5.1.1 Implantação do sensor analítico de turbidez de água bruta

A instalação de um turbidímetro de processo possibilita a análise em tempo real das amostras de água bruta das duas captações, uma localizada a 150 m da EBAB e a outra distante 2000 m da margem. O equipamento empregado deve ser interligado a um controlador, que por sua vez estará conectado a um computador através de cabo Ethernet, a fim de que seja possível realizar o acesso de dados dos sensores, realizar downloads de medições e a calibração dos sensores de turbidez via software, além de interligar as informações a um supervisão localizado na ETA Belém Novo.

O turbidímetro SS7 com duas entradas digitais, da marca Hach, é capaz de executar as funções descritas, já que sua faixa de medição é ampla, de 0 a 9999 NTU e o tempo de resposta de, até, 45 segundos.

Figura 5.1: Analisador de turbidez de processo



Fonte: Hach (2021).

O bombeamento de água bruta dos poços de sucção para a superfície deverá ser

feito com o auxílio de uma bomba submersa para cada canal, escolhidas de acordo com a vazão requerida para o analisador de turbidez, entre 1 a 2 L/min. Os acessórios necessários à montagem serão definidos a partir da especificação do fabricante quanto ao diâmetro da tubulação empregada.

O fluxo constante de água bruta será observado em uma cuba com torneira e o desvio de água para amostragem será feito a partir de uma bifurcação da rede com a sonda que alimenta o analisador de turbidez.

O equipamento SC 200 será interligado ao Controlador SC 1000, marca Hach, projetado para receber sinais analógicos de entrada - corrente 4 a 20 mA - e computar os resultados em um supervisor, a partir da conexão por Ethernet.

Figura 5.2: Controlador SC 1000



Fonte: Hach (2021).

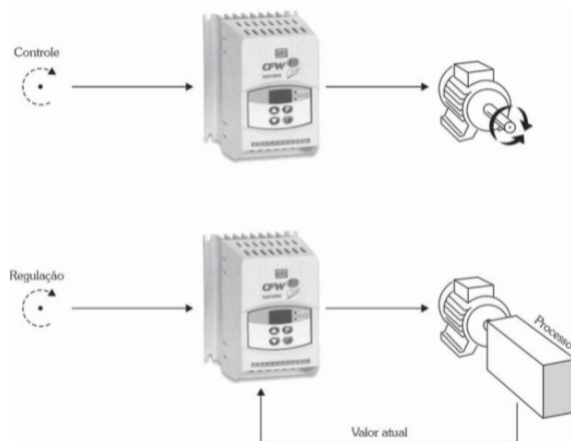
5.1.2 Implantação da dosagem e controle de coagulante por instrumentação

A dosagem de coagulante deve ser ajustada quando dificuldades na coagulação e floculação forem observadas, a partir do resultado encontrado no Teste de Jarros, bem como em situações de aumento de turbidez da água bruta, de modo a corrigir o processo de forma antecipativa, ou ainda a cada troca de vazão, por necessidade operacional ou demanda.

Desse modo, a proposta é integrar o controle de dosagem de Policloreto de Alumínio a um sistema supervisor, a fim de alterar a vazão da bomba dosadora com o auxílio de um inversor de frequência.

Conforme Capelli (2013), a partir de um comando eletrônico, o inversor de frequência controla a velocidade e o torque do motor de corrente alternada - projetado de acordo com o tipo de distribuição de rede elétrica no Brasil -, alterando a frequência de rotação. Esse instrumento pode atuar no controle - malha aberta - ou regulação do processo, malha fechada e com *feedback* para corrigir desvios, de acordo com a figura abaixo:

Figura 5.3: Funcionamento de um inversor de frequência



Fonte: CAPELLI (2013).

Os parâmetros de vazão de coagulante e rotação do motor serão determinados a partir da elaboração da curva característica de desempenho da bomba, gráfico que relaciona a vazão com a frequência em diferentes regulagens. Tais informações serão registradas no software do supervisor, que, a partir do comando por parte do operador, enviará sinal analógico ao Controlador Lógico Programável e este emitirá sinal ao inversor de frequência para modular o processo.

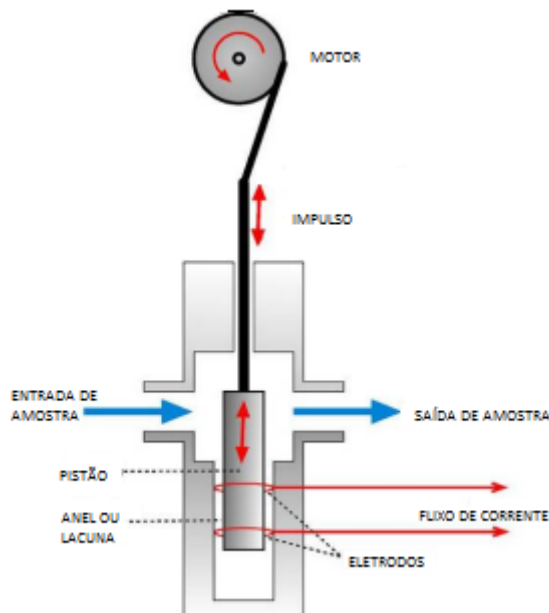
De modo a garantir a ausência de oscilações de vazão do coagulante na etapa de clarificação da água, essencialmente frente ao aumento de turbidez da água bruta, um sistema de controle *feedback* é necessário (SIBIYA, 2014).

O dispositivo *streaming current detector* (SCD), analisador de cargas, mede a corrente em trânsito em um cilindro de extremidade fechada, o qual partículas contidas na amostra de água ficam presas entre as paredes do cilindro pelo movimento ascendente e descendente do pistão.

A carga elétrica residual é gerada a partir da diferença entre as cargas positivas do coagulante e negativas das partículas coloidais (HACH, 2014) e comparada com o *setpoint*, definido pelo teste de jarros - análise que simula o gradiente de velocidade,

velocidade de sedimentação e tempo de detenção da água no sistema de clarificação a partir da adição de coagulante. A figura abaixo exemplifica o funcionamento do sensor:

Figura 5.4: Princípio de funcionamento do analisador de cargas



Fonte: Adaptado de HACH (2014).

A recepção do sinal de corrente elétrica emitido pelo analisador de cargas é feita pelo monitor acoplado ao equipamento, controlador ajustado para gerar alarmes sonoros quando desvios em relação ao *setpoint* forem observados, a fim de que o operador possa corrigir a dosagem de coagulante com base na visualização do erro, bem como a partir dos resultados analíticos de turbidez de água bruta. O instrumento SCD da marca Chemtrac pode ser visualizado na figura a seguir:

Figura 5.5: Analisador de cargas e controlador

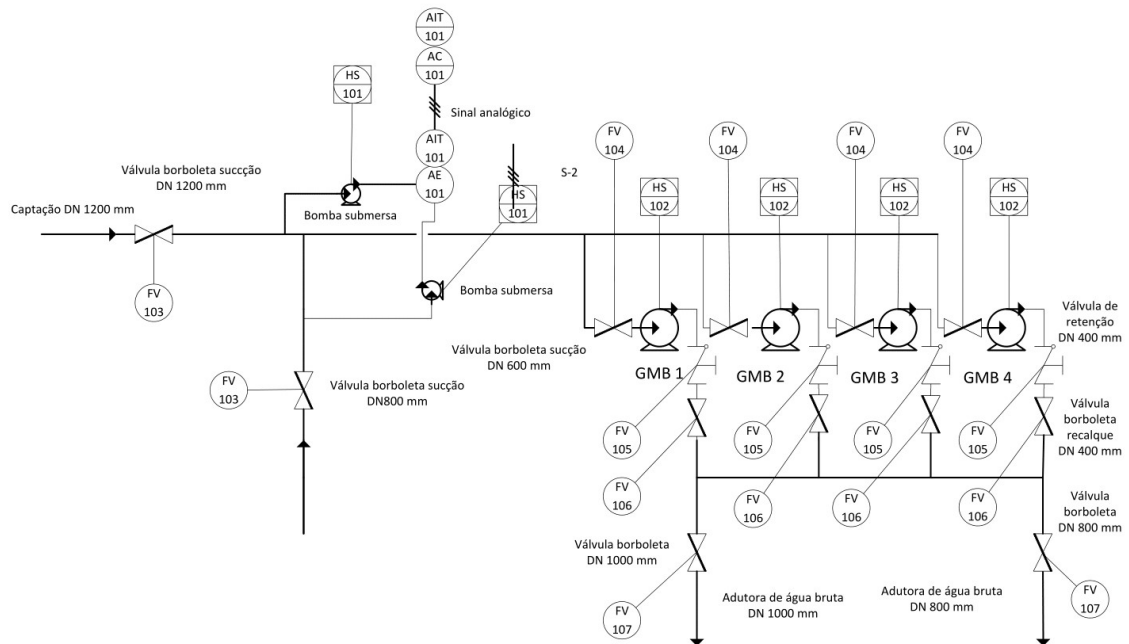


Fonte: HACH (2021).

O controle em malha fechada servirá para padronização e acompanhamento do processo pelos operadores da ETA, portanto um sinal pré-determinado será enviado ao sensor, de modo que a variável atinja o *setpoint* ou indique o erro, a ser corrigido pelo plantonista.

De modo a viabilizar a execução do projeto, o diagrama de tubulação e instrumentação (P&ID) deve ser desenvolvido para fornecer todas as informações detalhadas do processo. A figura abaixo exemplifica o Diagrama P&ID da implantação de sensor analítico de turbidez de água bruta na EBAB e as malhas de controle para o processo:

Figura 5.6: Diagrama P&ID EBAB

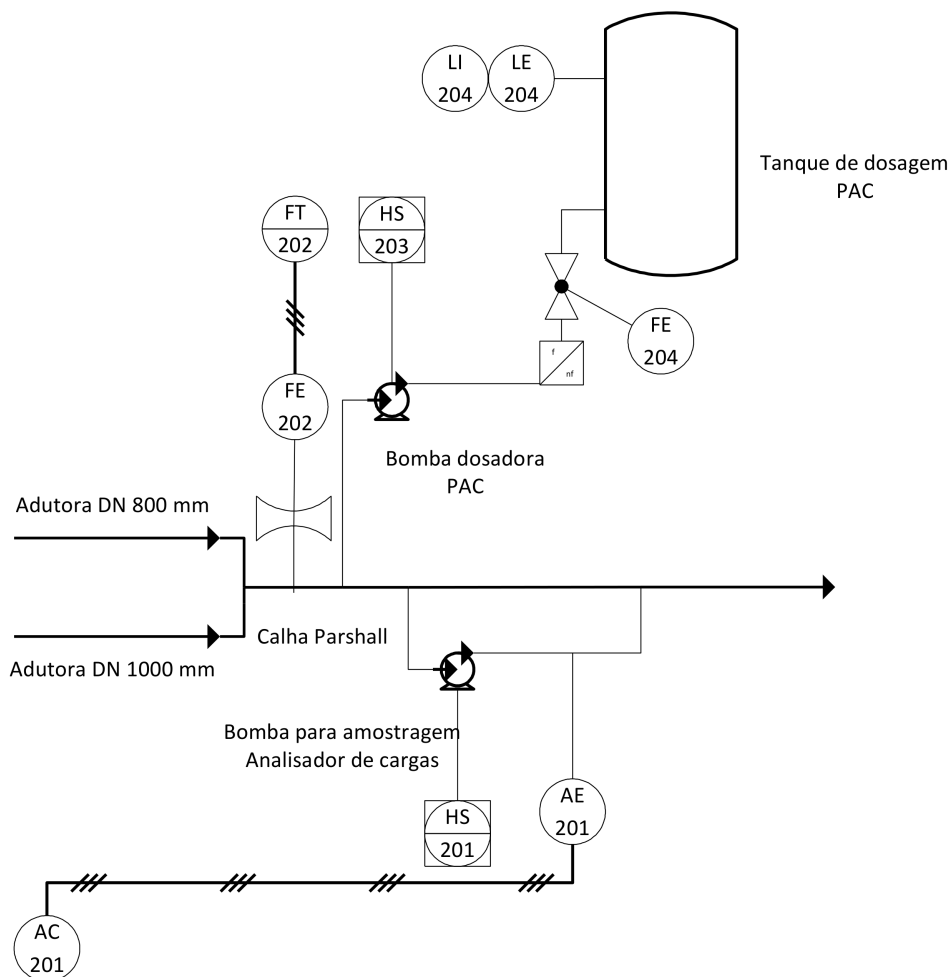


Fonte: Autor (2021).

Barros (2004) descreve a implantação de diferentes sensores analíticos de processo em uma Estação de Tratamento de Água e cita que, embora os instrumentos para medição das características da água forneça dados em tempo real para ajuste do processo, é necessário avaliar a resposta de cada um - incluindo sensores de turbidez de água bruta - e o local mais adequado para instalação dos mesmos, de modo a garantir a eficiência e confiabilidade dos dados.

A visualização das modificações propostas para a ETA Belém Novo estão descritas na figura a seguir, que contempla as variáveis já controladas e as malhas de controle sugeridas para as melhorias:

Figura 5.7: Diagrama P&ID ETA



Fonte: Autor (2021).

Mello (2017) visualizou melhorias na operação da ETA em uma indústria de papel após a automatização do processo, sobretudo em relação ao retorno financeiro ocasionado pela economia de coagulante, após inserir o controle de dosagem de Policloreto de Alumínio através de supervisor.

Além da elaboração do projeto, testes piloto acerca do controle da coagulação por meio do analisador de cargas devem ser realizados na planta para simular o processo em grande escala. Damasceno et al. (2019) relata que os estudos realizados no período de um ano hidrológico - seca e chuvas - evidenciaram que a dosagem ótima de coagulante foi visualizada em valores de carga próximos à neutralidade, embora não tenha sido en-

contrada correlação entre variações de qualidade da água bruta e resultados da análise de cargas.

Alternativas ao projeto original podem ser estudadas, como a mudança de dosagem do coagulante a partir do monitoramento da análise de cargas do SCD. A partir da leitura divergente ao *setpoint*, pré-determinado no teste de jarros, a correção da dosagem pode ser feita de forma automática (SIBIYA, 2014)

Estudo realizado na Universidade de Delaware (EUA), demonstra que o equipamento analisador de cargas necessita de controle e manutenção periódica por parte dos operadores da ETA, a fim de remover partículas de sujeira aderidas às paredes do sensor e linha de amostragem (DENTEL; KINGERY, 1988). Dessa forma, após a execução do projeto, os servidores da ETA Belém Novo deverão passar por capacitação periódica para operar os instrumentos e atuar na manutenção diária, de modo que os resultados encontrados no SCD representem a realidade. Além disso, as análises operacionais já consolidadas na operação serão realizadas para acompanhamento do processo.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo abordar conceitos de Instrumentação e Controle aplicáveis ao saneamento, de modo a otimizar os processos em uma Estação de Tratamento de Água. As variáveis de processos monitoradas também podem ser implementadas em plantas de tratamento de água e efluentes da indústria de alimentos, visto a importância de produzir água potável e/ou efluentes tratados com resultados satisfatórios a partir dos parâmetros definidos nas legislações vigentes.

O acompanhamento das variáveis em tempo real - como a turbidez - e a resposta mais ágil frente ao aumento de sólidos em suspensão na água bruta, além da diminuição de custo pela redução da aplicação de Policloreto de Alumínio configuram os principais benefícios da aplicação de Instrumentação e Controle.

Como recomendação futura, o controle e monitoramento de dosagem dos demais produtos químicos como Cloro, Ácido Fluossilícico, Hidróxido de Sódio e Dióxido de Cloro via supervisor auxiliaria a operação, além da transmissão da vazão de entrada de água bruta à ETA, hoje visualizada em um transmissor ultrassônico. Outras melhorias envolvem a instalação de sensor de presença de Gás Cloro, como forma de mitigar o risco de inalação do gás pelos operadores da ETA ou moradores da região.

A elaboração desse projeto corrobora com uma das necessidades descritas no Plano Diretor de Automação Integrado, documento elaborado pelo DMAE para fornecer uma visão completa sobre Automação Industrial no Departamento, bem como direcionar esforços para melhoria continuada dos processos e monitoramento de outras variáveis a partir da instrumentação.

REFERÊNCIAS

- BAIRD, R. B. et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd.** [S.l.]: Water Environment Federation, American Public Health Association, American . . . , 2017.
- BARROS, S. C. de. Instrumentação e controle de uma estação de tratamento de água. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- BITTENCOURT, C. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos.** São Paulo, SP: Érica, 2014. ISBN 9788536521770.
- BRANQUINHO, M. A. **Segurança da automação e SCADA.** Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2014. ISBN 9788535277333.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.** 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>>. Acessado em: 15 mar. 2021.
- BRASIL. **Portaria nº 888.** 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acessado em: 16 mai. 2021.
- CAGLIARI, L. Padronização do uso de policloreto de alumínio e poliacrilamida em uma eta de porto alegre. 2018.
- CAMARGO, V. L. A. d. **Elementos de automação.** São Paulo, SP: Érica, 2014. ISBN 9788536518411.
- CAPELLI, A. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos.** São Paulo, SP: Érica, 2013. ISBN 9788536519616.
- CAVAZZANA, T. L.; MATSUMOTO, T.; LIBÂNIO, M. Avaliação da floco-decantação de manta de lodo associada à decantação de alta taxa no tratamento de águas de consumo humano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 13, n. 2, p. 126–133, 2008.
- DAMASCENO, D. A. B. et al. Controle da coagulação por meio de equipamento medidor de cargas. Universidade Federal de Viçosa, 2019.
- DAVIS, M. **Tratamento de águas para abastecimento e residuárias: princípios e práticas.** Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2017. ISBN 9788535279887.
- DENTEL, S. K.; KINGERY, K. M. **An evaluation of streaming current detectors.** [S.l.]: American Water Works Association, 1988.
- DMAE. **Dados Gerais 2020.** 2021. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php>>. Acessado em: 20 mai. 2021.
- DMAE. **Lago Guaíba.** 2021. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php>>. Acessado em: 02 abr. 2021.

- DMAE. **Plano de Qualidade ETA Belém Novo**. 2021. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php>>. Acessado em: 29 mar. 2021.
- DMAE. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2021. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php>>. Acessado em: 08 abr. 2021.
- FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises**. São Paulo, SP: Érica, 2010. ISBN 9788536505190.
- FILHO, G. E. F. F. **Bombas, Ventiladores e Compressores - Fundamentos**. [S.l.]: Saraiva Educação S.A, 2018.
- FILHO, G. F. **Automação de processos e de sistemas**. São Paulo, SP: Érica, 2014. ISBN 9788536518138.
- FILHO, S. S. F. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2017. ISBN 9788535287400.
- FRANCHI, C. M. **Controle de processos industriais: princípios e aplicações**. São Paulo, SP: Érica, 2011. ISBN 9788536518282.
- FRANCHI, C. M. **Instrumentação de processos industriais: princípios e aplicações**. São Paulo, SP: Érica, 2015. ISBN 9788536519753.
- HACH. **Coagulation, flocculation and clarification of drinking water**. 2014. Disponível em: <<https://www.hach.com/af7000-streaming-current-monitor-110v/product-downloads?id=10452743001>>. Acessado em: 01 mai. 2021.
- HELLER, L. et al. Oocistos de cryptosporidium e cistos de giardia: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Coordenação-Geral de Desenvolvimento da Epidemiologia em Serviços/Secretaria . . . , v. 13, n. 2, p. 79–92, 2004.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br>>. Acessado em: 29 mar. 2021.
- KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. d. Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 25, n. 5, p. 667–676, 2020.
- KERRY, H. **Princípios de tratamento de água**. São Paulo, SP: Cengage, 2016. ISBN 9788522124084.
- MELLO, R. J. d. Automação de uma estação de tratamento de água. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- OMEL. **Catálogo OMEL - Bombas dosadoras**. 2021. Disponível em: <<https://www.omel.com.br/nossos-produtos/bombas-dosadoras/nsp/nspm/>>. Acessado em: 29 abr. 2021.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agenda 2030**. 2017. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/ods/6/>>. Acessado em: 21 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU News**. 2020. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/11/1733352/>>. Acessado em: 21 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Declaração Mundial dos Direitos da Água**. 1992. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html/>>. Acessado em: 21 mar. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for drinking-water quality**. 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950/>>. Acessado em: 21 mar. 2021.

RICHTER, C. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo, SP: Blucher, 1991. ISBN 9788521200536.

ROCHA, A. A. **Histórias do Saneamento**. São Paulo, SP: Blucher, 2018. ISBN 9788521210139.

SANTOS, M. M. D. **Supervisão de Sistemas. Funcionalidades e Aplicações**. São Paulo, SP: Érica, 2014. ISBN 9788536508627.

SIBIYA, S. M. Evaluation of the streaming current detector (scd) for coagulation control. **Procedia Engineering**, Elsevier, v. 70, p. 1211–1220, 2014.

SILVA. **Ajuste de Controladores PID**. 2000. Disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/>>. Acessado em: 18 abr. 2021.

SOUZA, M. d. **Proposta de um sistema de gestão empregando instrumentação inteligente e redes de campo na automação do processo de tratamento de água**. Thesis (PhD) — Universidade de São Paulo, 2006.

ZAND, A. D.; HOVEIDI, H. Comparing aluminium sulfate and poly-aluminium chloride (pac) performance in turbidity removal from synthetic water. **Journal of Applied Biotechnology Reports**, Baqiyatallah University of Medical Sciences, v. 2, n. 3, p. 287–292, 2015.

ZIMMERMANN, Z. S. G. Z. D. **Operational control of coagulation and filtration processes**. [S.l.]: American Water Works Association, 2011.