



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DIDÁTICO PEDAGÓGICO  
DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO APRENDIZAGEM  
ATIVA DE ENSINO E PESQUISA**

**Wederson Nunes de Oliveira**

**Belo Horizonte**

**2023**

**Wederson Nunes de Oliveira**

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DIDÁTICO PEDAGÓGICO  
DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO APRENDIZAGEM  
ATIVA DE ENSINO E PESQUISA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Elizabeth Regina Halfeld da Costa



Assinatura da orientadora

Belo Horizonte

2023

**WEDERSON NUNES DE OLIVEIRA**

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DIDÁTICO PEDAGÓGICO  
DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COMO APRENDIZAGEM  
ATIVA DE ENSINO E PESQUISA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 26 de junho de 2023

Banca examinadora:



Elizabeth Regina Hafeld da Costa - Presidente da Banca Examinadora  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientador(a)



Nelia Henriques Callado - 1<sup>º</sup> Examinadora  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. da Universidade Federal de Alagoas



Valéria Cristina Palmeira Zago - 2<sup>º</sup> Examinadora  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Mariza, pelo incentivo e apoio. Aproveito para agradecer o apoio das minhas irmãs e irmãos, Shirley, Cleide, Wemerson, Werverson, e também meus sobrinhos Bruna e Flávio.

À minha companheira Stephanie pelo cuidado, companheirismo e muitos momentos de troca de ideias.

À Beth, minha orientadora, que nos momentos de difícil compreensão de muitos conceitos, foi precisa em ajudar a clarear minhas ideias, dando todo apoio para a finalização deste trabalho.

À Professora Valéria, pelo apoio que me foi dado no início deste trabalho como minha orientadora de trabalho de conclusão de curso I - TCC I e também como componente da banca.

À Professora Nelia pelas valiosas contribuições para melhorar a construção deste trabalho.

Às Professoras, Professores e Técnicos do DCTA e do CEFET-MG que fizeram parte deste caminho, em especial o Prof.<sup>or</sup> Frederico e o Prof.<sup>or</sup> Daniel que quando coordenadores de departamento, buscaram os melhores caminhos para que eu pudesse continuar o curso.

Aos meus colegas do CEFET-MG que colaboraram direta ou indiretamente com a construção deste trabalho, por meio dos debates e troca de ideias sobre o tema.

*“[...] as qualidades ou virtudes são construídas por nós no esforço que nos impomos para diminuir a distância entre o que dizemos e o que fazemos. Este esforço, o de diminuir a distância entre o discurso e a prática, é já uma das virtudes indispensáveis - a da coerência”.*

Paulo Freire (1996).

## RESUMO

OLIVEIRA, W. N. **Proposta de construção de um modelo didático pedagógico de uma estação de tratamento de água como aprendizagem ativa de ensino e pesquisa**. 2023. 53 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

O presente trabalho apresenta uma proposta de dimensionamento de um modelo didático pedagógico de uma estação de tratamento de água, na tentativa de representar as etapas do tratamento por ciclo completo. Dada a importância e complexidade do entendimento do tratamento de água, muitas instituições oferecem disciplinas visando fornecer ao discente um entendimento teórico-prático dos conceitos relativos à temática. A construção e utilização de modelos favorecem ao conhecimento, complementando as práticas pedagógicas, muitas vezes focadas no conhecimento conteudistas das disciplinas. As metodologias ativas de aprendizagem constituem uma maneira de desenvolver o processo ensino-aprendizagem, favorecendo o desenvolvimento do pensamento reflexivo e crítico. A proposta de dimensionamento teve como principal referência a NBR 12216:1992, que trata de projetos de estação tratamento de água para abastecimento público, além de livros e artigos. Com o intuito de aplicar a metodologia ativa, foi construído um pequeno canal com um vertedor triangular de parede delgada, o qual foi utilizado em uma aula prática da disciplina de Introdução à Prática Experimental, e ao final, foi aplicado um questionário semiestruturado para os discentes. Após a aplicação do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada, foi dimensionado um modelo didático de uma estação de tratamento de água por ciclo completo. Constatou-se que a maioria dos parâmetros atenderam aos requisitos da NBR 12216:1992. Mesmo que alguns requisitos não atenderam a norma, o modelo didático poderá contribuir para o ensino-aprendizagem dos discentes, os quais poderão apresentar soluções diante do problema. A proposta do modelo didático representa uma construção que pode ser utilizada como referência que possibilita materializar os conceitos que envolvem o dimensionamento de estação de tratamento de água, tornando-os facilmente assimiláveis.

Palavras-chave: Tratamento de Água. Metodologias Ativas. Modelo Didático.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Wederson Nunes de. **Proposal for the construction of a didactic pedagogical model of a water treatment plant as active learning in teaching and research.** 2023. 53 p. Monograph (Graduation in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

The present work presents a proposal for the dimensioning of a didactic and pedagogical model of a water treatment plant, in an attempt to represent the stages of treatment for a complete cycle. Given the importance and complexity of understanding water treatment, many institutions offer disciplines aimed at providing students with a theoretical and practical understanding of the concepts related to the subject. The construction and use of models favor knowledge, complementing pedagogical practices, often focused on content knowledge of disciplines. Active learning methodologies are a way to develop the teaching-learning process, favoring the development of reflective and critical thinking. The sizing proposal had NBR 12216:1992 as its main reference, which deals with water treatment station projects for public supply, in addition to books and articles. In order to apply the active methodology, a small channel was built with a thin-walled triangular spillway, which was used in a practical class of the subject Introduction to Experimental Practice, and at the end, a semi-structured questionnaire was applied to the students. . After applying the didactic model of the thin-walled triangular spillway, a didactic model of a complete cycle water treatment plant was designed. It was found that most parameters met the requirements of NBR 12216:1992. Even if some requirements did not meet the norm, the didactic model could contribute to the teaching-learning of students, who could present solutions to the problem. The proposed didactic model represents a construction that can be used as a reference that makes it possible to materialize the concepts that involve the dimensioning of a water treatment plant, making them easily assimilable.

Keywords: Water Treatment. Active Methodologies. Didactic Model.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	13
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específico</b> .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
<b>3.1</b>	<b>A aprendizagem ativa</b> .....	14
<b>3.2</b>	<b>O tratamento de água para abastecimento</b> .....	19
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
<b>4.1</b>	<b>Dimensionamento do modelo didático</b> .....	25
<i>4.1.1</i>	<i>Mistura Rápida</i> .....	27
<i>4.1.2</i>	<i>Floculadores</i> .....	28
<i>4.1.3</i>	<i>Decantadores</i> .....	31
<i>4.1.4</i>	<i>Filtros</i> .....	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50
<b>8</b>	<b>ANEXO I</b> .....	53

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> - Quadro relativo à classificação das metodologias ativas considerando os processos de aprendizagem colaborativas e cooperativas .....	17
<b>Figura 3.2</b> - Classes de enquadramento das águas e seu usos.....	20
<b>Figura 3.3</b> - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano .....	21
<b>Figura 3.4</b> - Seção transversal de um vertedor triangular de parede delgada (fina) .....	23
<b>Figura 4.1</b> - Dimensões do vertedor triangular de parede delgada .....	25
<b>Figura 4.2</b> - Diferentes angulações testadas em modelo didático de vertedor triangular de parede delgada. ....	26
<b>Figura 5.1</b> - Aplicação do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada.....	35
<b>Figura 5.2</b> - (1) A metodologia ativa aplicada facilitou seu processo de Ensino-Aprendizagem na prática realizada, contribuindo com sua participação e transmissão de ideias? .....	35
<b>Figura 5.3</b> - (2) A metodologia ativa aplicada contribuiu para o desenvolvimento de sua habilidade analítica de problemas? .....	36
<b>Figura 5.4</b> - (3) Durante a prática o docente construiu um ambiente favorável ao aprendiz, atuando como facilitador do Ensino-Aprendizagem? .....	36
<b>Figura 5.5</b> - (4) Você acha válida a aplicação da Aprendizagem Baseada em Projetos (Project-Based Learning - PBL) na graduação? .....	36
<b>Figura 5.6</b> - (5) Você se sentiu envolvida(o) no seu processo de Ensino-Aprendizagem e foi possível despertar o interesse em conhecer mais sobre metodologias ativas de Ensino-Aprendizagem? .....	37
<b>Figura 5.7</b> - Projeto do misturador rápido .....	39
<b>Figura 5.8</b> - Projeto do Floculador.....	42
<b>Figura 5.9</b> - Projeto decantadores de alta taxa.....	44
<b>Figura 5.10</b> - Quadro com as condições de espessura e características granulométricas para diferentes camadas dos filtros.....	45
<b>Figura 5.11</b> - Projeto Filtros camada simples e camada dupla .....	46
<b>Figura 5.12</b> - Projeto finalizado do modelo didático da ETA .....	47

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 5.1</b> - Valores encontrados no ensaio com vertedor triangular .....	34
<b>Tabela 5.2</b> - Valor calculado e adotado de acordo com a norma.....	38
<b>Tabela 5.3</b> - Valores de dimensionamento da mistura rápida.....	38
<b>Tabela 5.4</b> - Valores de dimensionamento do flocculador .....	39
<b>Tabela 5.5</b> - Valores de espaçamento entre as chicanas .....	40
<b>Tabela 5.6</b> - Valores da seção de escoamento .....	40
<b>Tabela 5.7</b> - Valores dos números de chicanas .....	40
<b>Tabela 5.8</b> - Valores de velocidade nos trechos.....	40
<b>Tabela 5.9</b> - Valores de velocidade nas curvas .....	41
<b>Tabela 5.10</b> - Valores das perdas de cargas .....	41
<b>Tabela 5.11</b> - Valores de Raio Hidráulico entre as chicanas .....	41
<b>Tabela 5.12</b> - Valores de Gradiente de velocidade .....	42
<b>Tabela 5.13</b> - Valores de dimensionamento do decantador laminar e ciclo completo .....	42
<b>Tabela 5.14</b> - Valores de dimensionamento do decantador por ciclo completo .....	43
<b>Tabela 5.15</b> - Valores de dimensionamento do decantador laminar.....	43
<b>Tabela 5.16</b> - Valores de dimensionamento do filtro.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma das maiores reservas de água doce do mundo. Porém, muitos dos mananciais que são utilizados para tratamento de água para consumo humano estão cada vez mais poluídos ou deteriorados por impactos ambientais. Além disso, uma quantidade considerável de água disponível é desperdiçada pelo seu uso inadequado.

Como a saúde humana depende da qualidade da água, uma vez que parte considerável das doenças está relacionada com a ingestão de águas impróprias para o consumo, é de fundamental importância o tratamento prévio da água para que ocorra a eliminação das suas impurezas.

No tratamento de água para consumo humano, existem diferentes tecnologias que podem ser empregadas, tais como: ciclo completo; Filtração lenta; FiME – Filtração em múltiplas etapas; Filtração direta Ascendente; Filtração direta Descendente (Filtração em linha) e Dupla filtração. No Brasil, ocorre uma predominância do emprego de estação de tratamento por ciclo completo, por ser um sistema capaz de tratar uma ampla faixa de qualidade de água bruta (RICHTER, 2009).

O tratamento por ciclo completo é composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação/flotação, filtração, desinfecção e processos auxiliares, apresentando todas as etapas do processo de tratamento de água, sendo que as outras tecnologias de tratamento são recortes desta tecnologia maior.

Dada a importância e complexidade do entendimento do tratamento de água, que leva em conta os aspectos operacionais e de projeto, as várias tecnologias de tratamento existentes aplicadas conforme a qualidade da água a ser tratada, muitas instituições oferecem disciplinas relativas ao tema para cursos técnicos, graduação e pós-graduação, na tentativa de fornecer ao discente um entendimento teórico-prático dos conceitos relativos à temática.

Atualmente, há uma predominância de metodologias de ensino pautadas na transmissão e recepção do conhecimento, onde os alunos atuam como sujeitos passivos, tornando-os apenas consumidores das informações que lhes são repassadas pelo docente, trabalhando individualmente, e o entendimento do conteúdo sendo avaliado por meio de testes, que de uma maneira geral, medem a capacidade apenas de memorizar equações, procedimentos, fatos, processos, etc.

Por meio de questões referentes à maneira a qual as práticas pedagógicas são tratadas no contexto ensino-aprendizagem, é que o papel do docente se apresenta como agente que promove a mudança. Diante deste contexto, percebe-se que os saberes relativos às práticas pedagógicas não deveriam estar focados apenas no conhecimento conteudista das disciplinas, sendo este, apenas um dos aspectos do processo de aprendizagem.

Dominar o conteúdo das disciplinas é importante, mas para que a aprendizagem transponha a racionalidade meramente técnica para uma perspectiva que busque ressignificá-la, atendendo aos saberes construídos, considerando uma postura reflexiva, investigativa e crítica, se faz necessário o envolvimento do discente no processo de aprendizagem.

Neste sentido, a construção e utilização de modelos didáticos, considerando proposições no contexto das metodologias ativas, associadas à outras atividades pedagógicas, favorecem ao conhecimento colaborativo e aprendizagem prática para o discente.

Os modelos didáticos são instrumentos utilizados como facilitadores para o entendimento dos conteúdos que são trabalhados na sala de aula, e podem ser utilizados por diferentes abordagens, destacando que suas representações tem sido de grande importância para o ensino-pesquisa (GRECA; MOREIRA, 2002). Assim, a construção do modelo objetiva o interesse mediador entre o teórico e o empírico, e muitos são produzidos pela comunidade científica na tentativa de articular leis e teorias que fazem acordos entre o conhecimento científico e o mundo real (DELLA; FERLA, 2013).

Diante do exposto, o presente projeto de pesquisa pretende trabalhar o dimensionamento de um modelo didático pedagógico de uma pequena estação de tratamento de água (ETA), na tentativa de representar as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, visando futuramente, construí-la e utilizá-la como instrumento pedagógico associada à outras metodologias de ensino.

A proposta visiona a utilização do modelo didático como uma forma de subsidiar o entendimento de conteúdos da disciplina de tratamento de água e outras correlatas, aplicando a metodologia do processo de ensino-aprendizagem no contexto da Aprendizagem Baseada em Projetos didáticos explicativos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Propor um modelo didático pedagógico de uma estação de tratamento de água que facilite o entendimento dos conteúdos da disciplina de tratamento de água e disciplinas correlatas, considerando a aplicação da metodologia ativa baseada em projetos com viés didático explicativo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Experienciar o aprendizado dos discentes por meio da metodologia ativa pela aplicação do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada e questionário semiestruturado em sala de aula;
- Dimensionar o modelo didático de estação de tratamento considerando os parâmetros hidráulicos prescritos pela NBR 12216:1992 e na literatura;
- Vivenciar a aplicação da metodologia ativa baseada em projetos à partir da concepção do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada e do dimensionamento da ETA.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A aprendizagem ativa**

Ao longo do desenvolvimento humano, visando à nossa sobrevivência, a produção de conhecimento e sua sistematização vem modificando a maneira pela qual compreendemos o mundo. Considerando o desenvolvimento científico e tecnológico, as experiências e conhecimento são produzidos e transmitidos ao longo de gerações, possibilitando mudanças e avanços em relação ao conhecimento.

Segundo Casale (2013), as transformações sociais: política, econômica, tecnológica e científica tem refletido diretamente nas pessoas, levando em conta a vida social, a organização do trabalho, as formas de produção e também a formação profissional. Para acompanhar tais transformações é necessária uma adaptação contínua dos indivíduos.

Assim, essas transformações constituem argumentos que comprovam a importância da educação e da escola, considerando os processos de ensino-aprendizagem, além da construção das relações entre docente e discente, conhecimentos e as práticas desenvolvidas.

De acordo com Lima (2016), até o final do século XIX, a aplicação de metodologias pedagógicas a partir de um modelo focado na transmissão de valores por meio da escola manteve-se inalterada, sendo transmitida como um modelo inquestionável, instituído em uma tradição. Esse modelo de prática pedagógica conhecido como ensino tradicional se dá a partir do surgimento dos sistemas nacionais de ensino que tiveram uma maior abrangência nas últimas décadas do século XX (LEÃO, 1999).

Esse modelo de ensino também chamado de pedagogia da transmissão traz uma visão centrada no educador e em seu próprio conhecimento, cujo objetivo é apenas transmitir os conteúdos aos alunos. A exposição dos conteúdos, a demonstração e a memorização seriam as estratégias pedagógicas mais comuns para se trabalhar as disciplinas. Em muitas instituições esta forma de ensino ainda está presente de maneira dominante (BOMFIM et al., 2009).

Nas últimas décadas, o descontentamento em relação a baixa eficiência, levando em consideração a aprendizagem, da utilização de metodologias tradicionais de ensino, caracterizadas com foco na transmissão dos conteúdos tem sido cada vez maior (CARDOSO;

LIMA, 2012). Ainda, Barraza et al.,(2001) diz que:

[...] a forma de ensino tradicional mostra-se deficiente, precisando de reformulação para que os alunos se sintam motivados, visto que, alunos diferentes preferem aprender segundo estilos diversos. Classificados como visuais ou verbais, indutivos ou dedutivos, ativos ou reflexivos, e ainda segundo combinações secundárias destas classificações primárias, cada estudante tem uma forma de estudar, com a qual o seu rendimento de aprendizagem é mais eficiente (BARRAZA et al., 2001. p.2).

Assim, contrária às metodologias pedagógicas conteudistas, as atuais demandas sociais requerem uma nova postura em relação ao docente como também o estabelecimento de uma nova relação entre este e o conhecimento, já que cabe a ele, a orientação do processo de aprendizagem. Portanto, essas exigências envolvem novas aprendizagens em relação ao desenvolvimento de novas competências, construindo novas concepções e facilitando o entendimento.

No Brasil, os Projetos Pedagógicos dos cursos de graduação tem estimulado mudanças na forma e no ambiente de ensino-aprendizagem tornando-o mais interativo, cooperativo e significativo. O discente passa a aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, sendo capaz de assumir atitudes investigativas, com vistas à aprendizagem contínua e produção de novos conhecimentos (BRASIL, 2019).

Assim, novas soluções estão sendo propostas, estimulando as escolas a sair do método tradicional de ensino e atuar de forma mais ativa, envolvendo o discente em seu próprio processo de aprendizagem. Lovato (2018), reitera as contribuições de alguns pensadores dos processos educacionais.

A educação é o resultado de um processo que passa por diversos pensadores, os quais discutem os modelos de ensino e destacam a necessidade de autonomia do estudante. Podemos destacar as ideias de aprendizagem pelo condicionamento de Montessori, a aprendizagem por experiência de Frenet, as teorias de aprendizagem de Piaget e Vygotsky, a aprendizagem significativa de David Ausubel, a crítica ao modelo de educação bancária de Paulo Freire e o construtivismo do francês Michael Foucault (LOVATO, 2018. p.157).

Estas ideias de aprendizagem vão tratar a metodologia como um dos principais instrumentos do aprendizado. Por meio dela é possível desenvolver a capacidade cognitiva do discente,

trabalhando sua autonomia, estimulando o aprendizado de maneira crítica através da reflexão dos saberes conduzidos em sala de aula. Assim as experiências vão se tornando processos mais conscientes, estabelecendo conexões que antes nem se percebia, superando o viés para novas possibilidades.

Dentro da perspectiva do entendimento que situam as metodologias ativas, tendo o discente como centro do processo, é possível estimular a aprendizagem, ao contrário do ensino tradicional, em que o discente ocupa um lugar como sujeito passivo. Segundo Abreu (2009), “ao contrário do método tradicional, que primeiro apresenta a teoria e dela parte, o método ativo busca a prática e dela parte a teoria”.

Amplamente divulgado em universidades estrangeiras, o método ativo tem sido um diferencial em instituições brasileiras que aplicam esse referencial na sua organização metodológica, em especial em cursos superiores (ABREU, 2009). O trabalho com métodos ativos não é algo novo, pois ainda Abreu (2009), diz que:

[...] o primeiro indício dos métodos ativos encontra-se na obra Emílio de Jean Jacques Rousseau (1712-1778), tido como o primeiro tratado sobre filosofia e educação do mundo ocidental e na qual a experiência assume destaque em detrimento da teoria (ABREU, 2009. p.19)

As metodologias ativas de aprendizagem constituem a maneira de desenvolver o processo ensino-aprendizagem, por meio de experiências reais ou simuladas, com objetivo de solucionar, com sucesso, desafios que surgem das atividades essenciais da prática social.

Segundo Freire (1996), para que a educação transcorra, a solução de problemas, a superação dos desafios e a construção de novos conhecimentos por meio de experiências prévias, são fundamentais para estimular as aprendizagens.

Para que o ensino-aprendizagem possa ser adequadamente compreendido, é necessário ser analisado de tal maneira que articule as dimensões humanas, técnica e político social (CANDAU, 1991). Neste sentido, Antunes (2019) afirma:

as metodologias ativas procuram responder às demandas solicitadas, favorecendo a autonomia, o trabalho em grupo e as práticas sociais, inter-relacionando a produção do conhecimento, sua aquisição e a vida cotidiana. São práticas pensadas para a atividade de sala de aula visando desenvolver processos de ensino- aprendizagem

por meio de desafios concretos a serem superados, advindos das atividades essenciais a prática social, sejam elas reais ou simuladas, sendo planejadas por professores e estudantes, em que profissionais da educação atuam no fomento às atividades em que estudantes possam examinar, relacionar e refletir sua própria realidade e conhecimentos (ANTUNES, 2019, p.112).

Ainda segundo Lovato (2018), com o passar dos anos diversas formas de metodologias ativas foram sendo elaboradas, e que muitas vezes são confundidas, uma vez que há grande similaridades entre elas. Na tentativa de classificar e situar da melhor maneira estas metodologias ativas, por meio de um estudo bibliográfico, foi realizada a seguinte classificação de acordo com a Figura 3.1.

**Figura 3.1** - Quadro relativo à classificação das metodologias ativas considerando os processos de aprendizagem colaborativas e cooperativas.

Classificação das metodologias ativa	
<b>Aprendizagem Colaborativas</b>	<p>Aprendizagem Baseada em Problemas (<i>Problem-Based Learning – PBL</i>)</p> <p>Problematização</p> <p>Aprendizagem Baseada em Projetos (<i>Project-Based Learning</i>)</p> <p>Aprendizagem Baseada em Times (<i>Team-Based Learning – TBL</i>)</p> <p>Instrução por Pares (<i>Peer-Instruction</i>)</p> <p>Sala de Aula Invertida (<i>Flipped Classroom</i>)</p>
<b>Aprendizagem Cooperativa</b>	<p>Jigsaw</p> <p>Divisão dos Alunos em Equipes para o Sucesso (<i>Student-Teams-Achievement Divisions – STAD</i>)</p> <p>Torneios de Jogos em Equipes (<i>Teams-Games-Tournament – TGT</i>)</p>

Fonte – Lovato (2018).

A metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos foi desenvolvida por John Dewey (1859-1952), por volta dos anos de 1900, e defendia a capacidade de pensar dos alunos levando em conta o aprender a fazer.

Dewey valorizou, questionou e contextualizou como os alunos poderiam adquirir conhecimento por meio de situações-problemas apresentadas na forma de projetos que estariam relacionados com o conteúdo curricular, promovendo o envolvimento dos alunos na busca de informações e competência por meio da resolução de problemas, em que são

planejados na tentativa de buscar uma aprendizagem eficiente e dinâmica, em que o aluno torna-se ativo na construção do conhecimento (DEWEY, 1959; MASSON; MIRANDA; MUNHOZ JR & CASTANHEIRA, 2012).

De acordo com Moura e Barbosa (2013), os projetos desenvolvidos no contexto da Aprendizagem Baseada em Projeto, ainda podem ser classificadas em três categorias: construtivo, investigativo e didático. O primeiro está relacionado a construção de algo novo, introduzindo alguma inovação, propondo uma solução nova para o problema ou situação. O segundo tem como objetivo o desenvolvimento de pesquisa sobre uma questão ou situação, empregando algum método científico. Por fim, o projeto didático, também conhecido como projeto explicativo, procura responder algumas questões tais como “como funciona? para que serve? como foi construído?”, buscando explicar, ilustrar ou revelar os princípios de funcionamento de objetos, mecanismos ou sistemas, etc.

A Aprendizagem Baseada em Problemas favorece o desenvolvimento do pensamento reflexivo e crítico do discente, levando em conta a problematização da realidade e a busca pela resolução dos problemas. Neste sentido, o discente inicia os estudos e investigações, refletindo sobre as situações que podem oferecer uma maior compreensão do caso. Este método busca formar sujeitos críticos, reflexivos e sensibilizados para a sua atuação.

A importância de trabalhar com novas metodologias faz-se fundamental ao desenvolvimento do ensino aprendizagem do discente (LINHARES; TASCETTO, 2011). Diante disso, a utilização de modelos didáticos é uma estratégia de ensino aprendizagem que pode contribuir para a construção do saber, unindo teoria e prática e promovendo a interação entre o educador e o educando.

Muitas instituições de ensino ainda utilizam de métodos tradicionais baseados em apenas aulas expositivas, palestras, seminários ou uso de mídias para trabalhar os conteúdos das disciplinas relativas ao sistema e tratamento da água, onde os discentes participam passivamente do processo ensino-aprendizagem. De acordo com SILVA (2019):

a construção de instrumentos didáticos possibilita vivenciar as situações concretas e significativas, com objetivos ligados ao sentir-pensar-agir, mudando o foco tradicional da aprendizagem, incorporando a ação e reflexão, bem como a construção e produção de conhecimentos teóricos e práticos (SILVA, 2019. p.3).

Como instrumento facilitador no ensino dentro do contexto de aprendizagens ativas, os modelos didáticos podem expor um sistema ou processo, favorecendo o entendimento de fenômenos complexos e abstratos, tornando o aprendizado mais concreto e de melhor entendimento (JUSTINA; PERLA, 2006).

O modelo didático pedagógico vai de encontro às intencionalidades e as práticas que o docente objetiva, permitindo uma abordagem da realidade escolar e sua complexidade, em função de ser um recurso que auxilia na elaboração de propostas fundamentadas, e nas linhas de investigação educativas e formação de professores (GARCÍA PÉREZ, 2000).

Assim, a construção e utilização de modelos didáticos em sala de aula ou laboratório, levando em consideração proposições didáticas dentro do contexto das metodologias ativas, associadas à outras atividades pedagógicas, favorecem um conhecimento colaborativo e aprendizagem prática para o discente.

### **3.2 O Tratamento da Água**

A água é essencial para as diferentes atividades humanas e para a vida. A qualidade da água está relacionada com sua composição química, física, bacteriológica, e as características desejáveis estão relacionadas com sua utilização.

Em relação ao consumo humano, há a necessidade de uma água potável livre de contaminantes e microrganismos patogênicos, capazes de provocar danos à saúde. Assim, a água para consumo humano precisa passar por processos de tratamento para remoção das impurezas, as quais devem atingir valores preestabelecidos pelas normas vigentes, garantindo a segurança da população. Vianna (1997) destaca a importância do tratamento da água para à saúde humana.

a água pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas coloidais, substâncias húmicas, elementos químicos, bactérias, algas dentre outros microrganismos. Tais impurezas devem ser eliminadas ou reduzidas à concentrações que não seja prejudiciais à saúde humana (VIANNA, 1997. p.15).

No Brasil, a Portaria GM/MS 888 de 04 de maio de 2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano como também seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

Ainda sobre a classificação da água, o instrumento de enquadramento de corpos de água da Resolução CONAMA nº 357/2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento. A resolução classifica a água doce em: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, como mostrado na Figura 3.2 (BRASIL, 2005).

**Figura 3.2** - Classes de enquadramento das águas e seus usos.

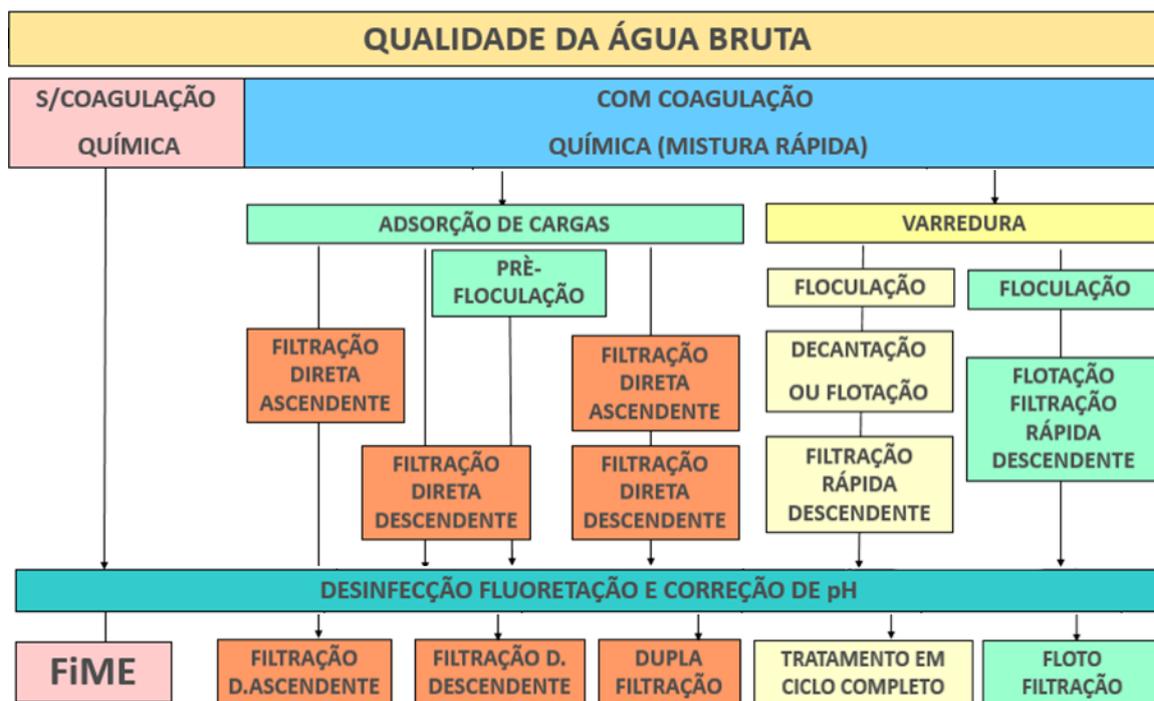
USOS DAS ÁGUAS DOÇES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA				
		ESPECIAL	1	2	3	4
PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS		Mandatório em UC de Proteção Integral				
PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS			Mandatório em Terras Indígenas			
RECREAÇÃO DE CONTATO PRIMÁRIO						
AQUICULTURA						
ABASTECIMENTO PARA CONSUMO HUMANO		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento conv. ou avançado	
RECREAÇÃO DE CONTATO SECUNDÁRIO						
PESCA						
IRRIGAÇÃO			Hortalças consumidas cruas ou frutas ingeridas com película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins e campos de esporte	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS						
NAVEGAÇÃO						
HARMONIA PAISAGÍSTICA						

Fonte - ANA (2013).

Assim, visando adequar ao consumo humano, a água precisa passar por tratamento e, para isso, existem diversas tecnologias de tratamento que vão desde a uma simples desinfecção até sistemas completos que contemplam a coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, a depender da qualidade da água (RAMOS, 2005).

De acordo com Di Bernardo (2005), dependendo da qualidade da água bruta, as tecnologias de tratamento podem ser classificadas em dois grupos: com coagulação química e sem coagulação química, como mostrado na Figura 3.3.

**Figura 3.3** - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano.



Fonte - Costa (2001) adaptado de Di Bernardo (2005).

Para a definição da tecnologia a ser utilizada no tratamento de água para o consumo humano, além do custo de implantação, manutenção e operação, é de fundamental importância determinar o tipo de água a ser tratada. A tecnologia amplamente utilizada para o tratamento de água é de ciclo completo por decantação, também conhecida como convencional. De acordo com Costa (2001), as etapas do tratamento por ciclo completo de água consistem em:

- **Coagulação:** processo relacionado à neutralização de cargas negativas das partículas coloidais e em suspensão, por meio da adição de um agente químico coagulante que anula a repulsão entre elas, promovendo o contato umas com as outras.
- **Floculação:** processo físico, em que a agitação relativamente baixa facilita o contato entre as partículas previamente desestabilizadas na coagulação, formando flocos que aumentam de volume e peso, para serem removidos na unidade seguinte, por sedimentação.
- **Decantação:** é uma etapa onde ocorre a sedimentação dos flocos formados na floculação. Por ação da gravidade, as partículas em suspensão sofrem sedimentação devido a diminuição da velocidade de escoamento.
- **Filtração:** nesta etapa ocorre a remoção de partículas em suspensão e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam por um meio poroso. Processo final de

remoção de impurezas realizado numa ETA, e portanto a principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com o Padrão de Potabilidade.

- **Desinfecção:** etapa do tratamento onde ocorre a eliminação de microrganismos patogênicos ainda presentes na água e que podem causar vários tipos de doenças.

Um dos aspectos importantes para o dimensionamento de um projeto de estação de tratamento de água é conhecer a vazão de projeto. Uma das maneiras de determinar a vazão da estação é por meio da utilização de vertedouros. Estes podem ser definidos como uma parede instalada, na maioria das vezes, perpendicularmente ao fluxo de escoamento, onde ocorre a elevação do nível d'água a montante até um nível suficiente para produzir uma lâmina de água por sobre o obstáculo.

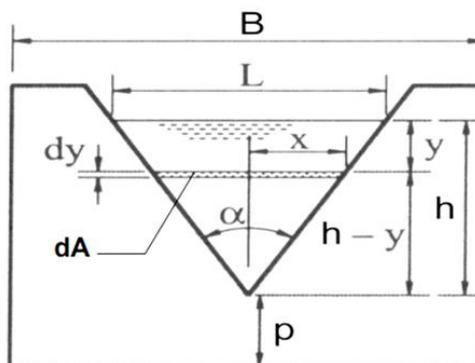
Os vertedores possuem uma determinada forma geométrica que pode ser: triangular, trapezoidal e retangular. Segundo Azevedo Netto (1998).

[...] a importância do estudo de vertedores é devida ao seu intenso uso como estrutura hidráulica para medir vazão em pequenos cursos d'água e condutos livres bem como para controlar o escoamento em canais e galerias. Seu uso como medidor de vazão também tem grande importância em laboratórios e indústrias devido a sua precisão e simplicidade de uso. Isso ocorre devido à relação existente entre a vazão sobre um vertedor e o nível d'água a montante (AZEVEDO NETO, 1998. p.87).

Segundo Bengston (2010), vertedores triangulares de parede delgada são dispositivos muito precisos para a medição de vazão, sobretudo quando se trata de pequenos fluxos. Essa precisão ocorre uma vez que a área da seção triangular e a vazão diminuem acentuadamente com a queda da carga hidráulica, favorecendo uma medida mais precisa da carga para fluxos pequenos.

A Figura 3.4 mostra um vertedor triangular de parede delgada de carga  $h$  e com ângulo de abertura  $\alpha$ . Quando se despreza a velocidade de aproximação, chega-se a uma relação entre a carga hidráulica e a vazão total por meio do desenvolvimento da componente  $dA$ .

**Figura 3.4** - Seção transversal de um vertedor triangular de parede delgada (fina).



Fonte - Porto (2006).

Em relação ao ângulo de abertura  $\alpha$ , apesar de o vertedor triangular de ângulo reto ser o mais estudado, na literatura há uma quantidade razoável de proposições e dados no sentido de expandir e buscar relações que podem explicar a variação da vazão, levando em consideração vertedores triangulares de diferentes ângulos de abertura.

Em relação a NBR 12216:1992, conceito de estudo de concepção é definido como o estudo de arranjos das diferentes unidades de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado, para a escolha da melhor solução sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.

Após o cálculo da vazão do projeto é possível determinar o dimensionamento de cada unidade de tratamento. Seguindo as recomendações da ABNT (1992), os parâmetros de projeto das unidades que compõem a estação de tratamento devem ser determinados por meio de ensaios de laboratório. Quando estes ensaios não puderem ser realizados, a norma recomenda as seguintes orientações:

- 1) Na mistura rápida: Gradientes de velocidade ( $G$ ) entre  $700 \text{ s}^{-1}$  e  $1100 \text{ s}^{-1}$  e tempo de mistura inferior a 5s;
- 2) Na floculação: gradiente de velocidade ( $G$ ) deve ser previsto, no primeiro compartimento, de  $70 \text{ s}^{-1}$  e no último, mínimo de  $10 \text{ s}^{-1}$ , tempo de detenção entre 20 min. a 30 min. para flocladores hidráulicos e 30 min. a 40 min. para mecanizados.
- 3) No decantação por ciclo completo: estações com capacidade inferior a  $1000 \text{ m}^3/\text{dia}$ , em operação contínua, ou estações com capacidade de até  $10000 \text{ m}^3/\text{dia}$ , com período

de funcionamento inferior a 18 h/dia, podem dispor de apenas uma unidade de decantação, desde que não-mecanizada. Ainda recomenda que estações com capacidade de até 1000 m<sup>3</sup>/dia, trabalhem com velocidade de sedimentação de 1,74 cm/min (25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x dia);

4) Na decantação de alta taxa: os cálculos seguem os requisitos da norma sendo complementados com parâmetros de projetos, segundo Richter (2009):

- a. Taxa de aplicação superficial 150 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia;
- b. Tempo de detenção menor que 60 min;
- c. Velocidade de sedimentação entre 20 a 60 m/dia;
- d. Ângulo das placas com a horizontal de 60°;
- e. Comprimento da placa de 0,6 a 1,2 m;
- f. Velocidade de escoamento entre as placas entre 15 a 20 cm/min;
- g. Espaçamento entre as placas entre 4 a 8 cm;
- h. Altura do decantador entre 4 a 6m;
- i. Relação comprimento/altura  $\geq 2$ ;
- j. Taxa de escoamento laminar  $\leq 1,8$  l/s/m;
- k. fator de forma (f).

5) Na filtração: os valores máximos das taxas são seguintes:

- l. filtro descendente de camada simples, 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- m. filtro descendente camada dupla, 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- n. filtro ascendente, 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia.

Considerando a disposição das unidades de tratamento e dos sistemas de conexão, de acordo com a NBR 12216:1992, as unidades deverão ser instaladas de modo a viabilizar o escoamento por gravidade, desde a entrada de água bruta até a saída de água tratada.

O tratamento de água enquanto aspecto integrante do saneamento básico, corresponde uma parte fundamental para prevenção de muitas doenças de veiculação hídrica, evitando assim, a contaminação da população por agentes patogênicos. Nesse ponto, dada a importância do tratamento da água, muitas instituições de ensino oferecem disciplinas relativas à temática na tentativa de fornecer uma compreensão dos aspectos de projeto.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Dimensionamento do modelo didático

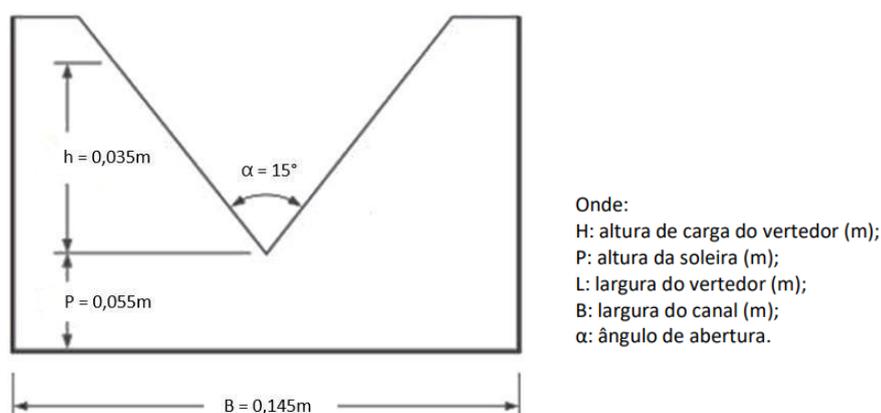
A proposta de dimensionamento do modelo didático foi baseada na bibliografia, principalmente na NBR 12216:1992, que trata de projetos de estação tratamento de água para abastecimento público, além de livros e artigos.

O estudo do referencial teórico forneceu subsídios para o dimensionamento do modelo didático, onde foi possível trabalhar os parâmetros hidráulicos de cada etapa. Considerando o tratamento por ciclo completo, composto pelas etapas de mistura rápida, floculação, decantação, filtração. A concepção do modelo didático considerou as dimensões possíveis em se tratando de um modelo reduzido que pudesse ser facilmente transportado e instalado em sala de aula.

Com o intuito de testar a metodologia ativa com os discentes, foi construído um pequeno canal com um vertedor triangular de parede delgada, pois de acordo com a NBR 13403/1995 os vertedores triangulares possibilitam uma maior precisão considerando vazões menores que 30 L/s.

As dimensões do vertedor triangular foram determinadas a partir de uma vazão adotada de 35 mL/s, considerando a possibilidade de deslocamento do dispositivo para diferentes lugares, como mostrado na Figura 4.1.

**Figura 4.1** - Dimensões do vertedor triangular de parede delgada.

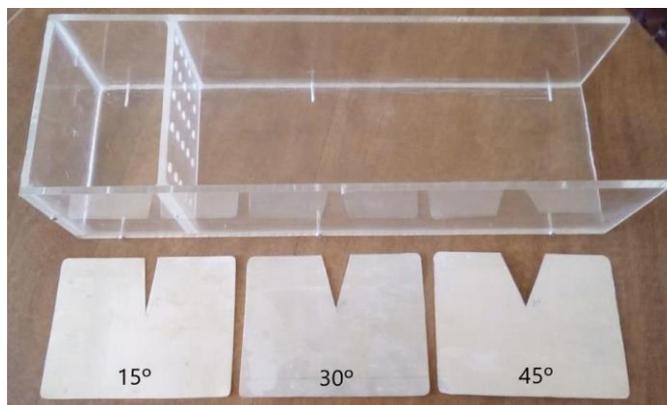


Fonte – Autor (2023).

Para determinação do ângulo mais adequado ao vertedor (medidor de vazão) foram realizadas

simulações com valores de 15, 30 e 45 graus, como mostrado na Figura 4.2.

**Figura 4.2** - Diferentes angulações testadas em modelo didático de vertedor triangular de parede delgada.



Fonte – Autor (2023).

Para encontrar o valor da vazão em cada ângulo de abertura estudado, foi utilizado o Método Volumétrico que consiste em medir o tempo decorrido ( $t$ ) para coletar um determinado volume ( $V$ ). Utilizando uma proveta de 1000 mL e um cronômetro, foi possível estabelecer a relação desses dois parâmetros, como mostrado na Equação 4.1.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

na qual:

$Q$  = vazão ( $m^3/s$ )

$V$  = volume ( $m^3$ )

$t$  = tempo (s)

Foram realizadas 3 medições, e posteriormente, calculado a média aritmética dos tempos e volumes, encontrando as vazões para cada ângulo de abertura estudado. O erro ( $e\%$ ) que ocorreu na medição do volume (ml) foi no máximo de 0,01%, e pode ser expresso em porcentagem pela Equação 4.2.

$$e\% = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% \quad (4.2)$$

na qual:

$e\%$  = erro

$\Delta V$  = variação do volume (ml)

$V$  = volume (ml)

De posse do modelo construído, foi realizada uma prática com seis discentes da disciplina de Introdução à Prática Experimental, trabalhando em duplas, onde puderam operar o modelo

didático, levantando informações sobre os parâmetros necessários para os cálculos de dimensionamento do vertedor triangular de parede delgada. Após a prática, foi aplicado um questionário semiestruturado (ANEXO I), na tentativa de avaliar a efetividade da metodologia de aprendizagem ativa aplicada no processo de construção do conhecimento do discente.

Uma vez que a aplicação do modelo didático do vertedor triangular mostrou-se satisfatório para a aplicação da metodologia ativa em sala de aula, empreendeu-se na proposta de construção de um modelo didático de uma estação de tratamento de água por ciclo completo, para aplicação na disciplina de tratamento de água e correlatas.

A partir da vazão calculada de 45mL/s, foram determinados os parâmetros de projeto das unidades que compõem o modelo didático da ETA, quais sejam:

#### 4.1.1 *Mistura rápida*

Foi pensada uma unidade de mistura rápida mecanizada, em função das pequenas dimensões que atenderam ao modelo didático. Para essa unidade foram realizados os cálculos das dimensões, e a forma obtida foi de uma seção quadrada com 5 cm x 5 cm com profundidade de 1 cm.

A partir daí foi calculado o volume (198 mL). Com o valor da vazão, calculado para o modelo didático, e o volume foi possível calcular o tempo de detenção na mistura rápida utilizando a Equação 4.3.

$$T_{\text{det}} = \frac{V}{Q} \quad (4.3)$$

na qual:

$T_{\text{det}}$  = tempo de detenção (s)

$V$  = volume ( $\text{m}^3$ )

$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Atendendo a NBR 12216:1992, obteve-se um valor do tempo de detenção de 4,4 s e o gradiente de velocidade adotado foi de  $700 \text{ s}^{-1}$ . O valor de gradiente escolhido é o menor estabelecido pela norma, já que o dimensionamento diz respeito a um modelo didático em escala muito reduzida. Para o cálculo do gradiente, utilizou-se a Equação 4.4.

$$G = 4,86 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{N^3 \cdot D^5}{\mu V}} \quad (4.4)$$

G = gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )

N = rotação (rpm)

V = volume ( $m^3$ )

D = diâmetro da turbina (m)

$\mu$  = viscosidade cinemática ( $m^2/s$ )

Para o sistema de agitação calculado a partir da Equação 4.4, chegou-se a uma turbina de fluxo radial com seis lâminas curtas em um disco, mais indicada para mistura rápida, pois possui maior potência dissipada. Será utilizado um motor de corrente contínua de 12 V para movimentar o agitador, que terá um eixo de 2 mm de diâmetro e comprimento de 10 cm. .

#### 4.1.2 Floculação

O floculador escolhido foi do tipo hidráulico com chicanas horizontais. A unidade de floculação do modelo didático tem dimensões 30 cm x 20 cm x 30 cm, com volume determinado de 0,018  $m^3$ . Considerando a vazão determinada (45 mL/s) e a Equação 4.3, chegou-se a tempo de detenção 6,7 min., inferior ao estabelecido pela NBR 12216:1992.

O floculador foi concebido considerando 3 séries de canais de chicanas horizontais, sendo a primeira com 29 chicanas e espaçamento adotado de 1 cm, a segunda com 23 chicanas e espaçamento adotado de 1,25 cm e a terceira com 16 chicanas e espaçamento adotado de 1,75 cm. Todas as chicanas possuem dimensões de 30 cm x 5 cm. Para o espaçamento das curvas em cada série (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>), foram adotados os valores de 2 cm, 3 cm e 3,5 cm, respectivamente.

Para as séries 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> de chicanas, os valores obtidos do gradiente de velocidade foram da ordem de 18  $s^{-1}$ , 15  $s^{-1}$  e 12  $s^{-1}$ , respectivamente, não sendo possível atender os requisitos da norma. A partir desses valores foi possível calcular outros parâmetros necessários ao dimensionamento do floculador em cada série de chicanas, de acordo com as Equações 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

a) Cálculo da seção de escoamento

$$e = \frac{SC}{H} \quad (4.5)$$

na qual:

$e$  = distância entre as chicanas (m)

$SC$  = seção de escoamento ( $m^2$ )

$H$  = altura (m)

b) Cálculo da velocidade na seção de escoamento

$$V_1 = \frac{Q}{SC} \quad (4.6)$$

na qual:

$V_1$  = velocidade na seção de escoamento (m/s)

$Q$  = vazão de projeto ( $m^3/s$ )

$SC$  = seção de escoamento ( $m^2$ )

c) Cálculo do número de chicanas

$$N = \frac{L}{e} - 1 \quad (4.7)$$

na qual:

$N$  = número de chicana na seção

$L$  = comprimento da chicana (m)

$e$  = distância entre as chicanas (m)

d) Velocidade nas curvas

$$V_2 = \frac{2V_1}{3} \quad (4.8)$$

na qual:

$V_2$  = velocidade na curva (m/s)

$V_1$  = velocidade na seção de escoamento (m/s)

e) Distância da chicana até a parede do floculador

$$D_f = \frac{Q}{H \cdot V_2} \quad (4.9)$$

na qual:

$D_f$  = distância entre chicanas (m)

$Q$  = vazão de projeto ( $m^3/s$ )

$H$  = altura (m)

$V_2$  = velocidade na curva (m/s)

f) Perda de carga localizada

$$h_{\text{curvas}} = \frac{((N + 1) \cdot V_1^2 + N \cdot V_2^2)}{2g} \quad (4.10)$$

na qual:

$h_L$  = perda de carga localizada na curva (m)

$N$  = número de chicana na seção

$V_2$  = velocidade na curva (m/s)

$V_1$  = velocidade na seção de escoamento (m/s)

$g$  = aceleração da gravidade ( $9,8\text{m/s}^2$ )

g) Raio hidráulico entre as chicanas

$$Rh = \frac{(e \cdot H)}{(e + 2H)} \quad (4.11)$$

na qual:

$Rh$  = raio hidráulico (m)

$e$  = distância entre as chicanas (m)

$H$  = altura (m)

h) Perda de carga distribuída (atrito)

$$h_{\text{atrito}} = \frac{(V_1 \cdot n)^2 \cdot L}{Rh^{4/3}} \quad (4.12)$$

na qual:

$h_{\text{atrito}}$  = perda de carga atrito (m)

$L$  = largura da chicana (m)

$V_1$  = velocidade na seção de escoamento (m/s)

$H$  = altura (m)

$n$  = coeficiente de rugosidade do acrílico (0,01375), (Silva et al., 2020)

i) Perda de carga total

$$h_{\text{total}} = h_L + h_A \quad (4.13)$$

na qual:

$h_L$  = perda de carga localizada na curva (m)

$h_A$  = perda de carga atrito (m)

j) Gradiente de velocidade

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot h}{\nu \cdot t}} \quad (4.14)$$

na qual:

$G$  = gradiente de velocidade ( $\text{s}^{-1}$ )

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ )

$\nu$  = viscosidade cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$t$  = tempo de detenção no compartimento (s)

$h_{\text{total}}$  = perda de carga total na câmara de floculação (m)

### 4.1.3 Decantação

O decantador do modelo didático foi pensado para trabalhar tanto como por ciclo completo (baixa taxa) quanto como laminar (alta taxa), pela inserção de um módulo que contém um conjunto de placas paralelas inclinadas a 60°, juntamente com a canaleta de água decantada.

Para o dimensionamento do decantador adotou-se valores de comprimento, largura e altura com as dimensões 80 cm x 20 cm x 30 cm, respectivamente. A taxa de aplicação superficial foi obtida a partir da Equação 4.15.

$$\frac{Q}{A} = f \cdot V_s \quad (4.15)$$

na qual:

Q = vazão que passa pelo decantador (m<sup>3</sup>/s)

A = área superficial útil da zona de decantação (m<sup>2</sup>)

f = fator de área, adimensional

V<sub>s</sub> = velocidade de sedimentação (m/s)

Segundo a ABNT (1992), em decantadores convencionais, o fator de área é igual à unidade.

Em relação ao decantador laminar o fator de área é determinado pela Equação 4.16.

$$f = \frac{(\sin \theta (\sin \theta + L \cdot \cos \theta))}{S} \quad (4.16)$$

na qual:

f = fator de área, adimensional

θ = ângulo de inclinação dos elementos tubulares, em graus

L = l/d, superior ou igual a 12, adimensional

l = comprimento da placa (m)

d = distância entre unidades sucessivas de placas paralelas (m)

S = fator de eficiência (1,0 para placas planas paralelas), adimensional

Os valores encontrados do fator de área e da velocidade de sedimentação do decantador laminar foram de 8,98 e 0,125 cm/min, respectivamente. No caso do ciclo completo, o fator de área é igual a 1 e dessa forma a velocidade de sedimentação determinada foi de 1,125 cm/min.

Em relação ao dimensionamento das placas paralelas, foram adotados os valores 5 cm x 19 cm. A instalação das placas ficará a uma distância de 15 cm do fundo do decantador, valor também adotado, sem considerar a inclinação de fundo. Serão instaladas 78 placas espaçadas a uma distância entre elas é de 1 cm, também a menor construtivamente possível neste caso.

O decantador laminar possui duas canaletas de coleta de água decantada de 65 cm de comprimento e a distância entre elas é de 7 cm. Para cada uma delas foi previsto 128 vertedores, considerando ambos os lados.

Retirando o módulo contendo as placas e canaletas, o decantador poderá funcionar como decantador por ciclo completo, cuja entrada será realizada por meio de uma cortina de distribuição que será constituída por uma placa de acrílico com orifícios com 1 cm de diâmetro, instalada no local onde se encontrava o módulo de placas paralelas do decantador laminar.

No decantador por ciclo completo, água decantada será coletada por dois vertedores situados junto ao canal que conduz a água aos filtros. Visando a operação de lavagem dos filtros, serão instalados na saída das canaletas de água decantada, dois registros para controle da água que dá acesso aos filtros, podendo dessa forma executar a lavagem.

#### 4.1.4 Filtração

Foram dimensionados dois filtros funcionando com taxa declinante variável, podendo eles funcionar tanto com camada simples (areia) quanto com camada dupla (areia e antracito). Ambos possuem camada suporte de seixo rolado, apoiada num fundo falso constituído de uma placa perfurada. As dimensões determinadas foram 20 cm x 20 cm x 30 cm.

Considerando a Equação 4.17 para o cálculo da taxa de filtração, o valor encontrado para o filtro foi de 75,6 m.dia, abaixo do valor recomendado pela norma.

$$\text{TAF} = \frac{Q}{A} \quad (4.17)$$

na qual:

TF= taxa de filtração superficial

Q = vazão que passa pelo filtro (m<sup>3</sup>);

A = área superficial útil do filtro (m<sup>2</sup>)

No filtro de camada dupla, adotou-se a espessura de 4,5 cm para camada suporte, 2,5 cm para a camada de areia e 4,5 cm para camada de antracito. A espessura da camada de areia do filtro de camada simples adotada foi de 4,5 cm, sendo que a camada suporte possui a mesma espessura do filtro de camada dupla. Foi adotado uma distância de 2 cm entre o fundo falso e o verdadeiro.

A água filtrada será conduzida para uma caixa com vertedor, que comandará o nível mínimo operacional do filtro, que foi determinado partir da distância entre o fundo falso e o verdadeiro (2 cm), ) somada à espessura da camada suporte (4,5 cm), à espessura do meio filtrante (7 cm) e a espessura da lâmina d'água (1 cm), utilizada para impedir que o meio filtrante fique descoberto. Dessa forma o vertedor terá altura total de 15 cm, tendo como referência o meio filtrante do filtro de camada dupla.

A água para lavagem dos filtros será encaminhada por meio de uma tubulação até o fundo falso, onde será distribuída para camada suporte, promovendo a lavagem em contracorrente do meio filtrante, a qual sofrerá uma expansão de 20% a 30%, conforme norma. A água de lavagem dos filtros será coletada pela canaleta de água de lavagem e encaminhada ao canal de água de lavagem para ser descartada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da construção do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada e aplicando o Método Volumétrico, foi possível medir o volume e o tempo decorrido para encontrar a vazão para cada ângulo de abertura, como mostrado na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** - Valores encontrados no ensaio com vertedor triangular

ÂNGULO 15°			ÂNGULO 30°			ÂNGULO 45°		
V <sub>1</sub> (mL)	t <sub>1</sub> (s)	Q <sub>1</sub> (mL/s)	V <sub>1</sub> (mL)	t <sub>1</sub> (s)	Q <sub>1</sub> (mL/s)	V <sub>1</sub> (mL)	t <sub>1</sub> (s)	Q <sub>1</sub> (mL/s)
1000,08	27,92	35,82	999,93	11,42	87,56	999,74	7,72	129,50
V <sub>2</sub> (mL)	t <sub>2</sub> (s)	Q <sub>2</sub> (mL/s)	V <sub>2</sub> (mL)	t <sub>2</sub> (s)	Q <sub>2</sub> (mL/s)	V <sub>2</sub> (mL)	t <sub>2</sub> (s)	Q <sub>2</sub> (mL/s)
1000,04	28,92	34,58	999,70	11,45	87,31	992,28	7,77	128,70
V <sub>3</sub> (mL)	t <sub>3</sub> (s)	Q <sub>3</sub> (mL/s)	V <sub>3</sub> (mL)	t <sub>3</sub> (s)	Q <sub>3</sub> (mL/s)	V <sub>3</sub> (mL)	t <sub>3</sub> (s)	Q <sub>3</sub> (mL/s)
999,68	28,40	35,20	999,90	11,62	86,05	999,960	7,80	128,20

Fonte - O autor (2023).

O ângulo que atendeu aos parâmetros foi o de 15°, uma vez que a água verteu sem que ocorresse o escoamento da mesma pela parede delgada do vertedor, possibilitando a medição da vazão que atendessem as dimensões do modelo didático do vertedor triangular.

A margem de erro (e%) para cada variável medida foi abaixo de 2%, não interferindo significativamente no cálculo da vazão. Assim, com a vazão de projeto de 35 mL/s, realizou-se o dimensionamento das unidades de tratamento do modelo didático do vertedor triangular.

A utilização do vertedor triangular de parede delgada na aula de Introdução à Prática Experimental, como pré-teste para aplicação de modelos didáticos, apresentou grande potencial no sentido de facilitação do processo ensino-aprendizagem dos conceitos, métodos e cálculos verificados no cálculo de vazão para o dimensionamento de ETAs, com apresentado na Figura 5.1.

**Figura 5.1** - Aplicação do modelo didático do vertedor triangular de parede delgada.



Fonte - O autor (2023).

Em relação às perguntas e respostas do questionário do pré-teste aplicado no final da aula prática, todos os discentes sinalizaram que o uso de um modelo didático contribui para a participação e transmissão de ideias, desenvolvimento da habilidade analítica de problemas, ambiente favorável ao aprendizado, despertando o interesse em conhecer mais sobre as metodologias ativas, principalmente as aprendizagem baseadas em projetos, como apresentado nas Figuras 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6.

**Figura 5.2** - (1) A metodologia ativa aplicada facilitou seu processo de Ensino-Aprendizagem na prática realizada, contribuindo com sua participação e transmissão de ideias?



Fonte - O autor (2023).

**Figura 5.3 - (2)** A metodologia ativa aplicada contribuiu para o desenvolvimento de sua habilidade analítica de problemas?



Fonte - O autor (2023)

**Figura 5.4 - (3)** Durante a prática o docente construiu um ambiente favorável ao aprendizado, atuando como facilitador do Ensino-Aprendizagem?



Fonte - O autor (2023).

**Figura 5.5 - (4)** Você acha válida a aplicação da Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning - PBL*) na graduação?



Fonte - O autor (2023).

**Figura 5.6 - (5) Você se sentiu envolvida(o) no seu processo de Ensino-Aprendizagem e foi possível despertar o interesse em conhecer mais sobre metodologias ativas de Ensino-Aprendizagem?**



Fonte - O autor (2023).

Durante a experimentação com modelos didático do vertedor triangular de parede delgada, os discentes mostraram maior motivação e entusiasmo ao desempenhar um papel fundamental como agente ativo no processo de ensino-aprendizagem, interagindo com a docente e demais colegas do grupo de estudo.

O dimensionamento e utilização do modelo didático do vertedor triangular possibilitou a aplicação da metodologia ativa em sala de aula, trazendo resultados positivos para o ensino-aprendizagem dos discentes que participaram da atividade. À partir dessa experiência, a proposta de dimensionamento de uma estação de tratamento de água por ciclo completo, mostrou-se relevante para aplicação no contexto de metodologia ativa baseada em projetos. Assim, as etapas seguintes do trabalho estão relacionadas ao dimensionamento da proposta do modelo didático da estação de tratamento de água por ciclo completo.

Para o projeto do modelo didático, a vazão de projeto foi de 45 mL/s, calculada por meio do dimensionamento do decantador por ciclo completo. Adotou-se um gradiente de velocidade de  $700 \text{ s}^{-1}$ , e a partir do volume da unidade de mistura rápida e vazão do projeto, encontrou-se um tempo de detenção de 4,4 s. O tempo de mistura e o gradiente condizem com a NBR 12216:1992, que determina o tempo de detenção inferior a 5 s e o gradiente de velocidade compreendido entre  $700 \text{ s}^{-1}$  a  $1100 \text{ s}^{-1}$ , como apresentado na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2** - Valor calculado e adotado de acordo com a norma

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)	NBR 12.216:1992
Tempo de detenção	4,4 s	5 s
Gradiente	700 s <sup>-1</sup>	700 s <sup>-1</sup> - 1100 s <sup>-1</sup>

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

Os valores calculados dos parâmetros necessários ao dimensionamento da unidade de mistura rápida podem ser observados na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3** - Valores de dimensionamento da mistura rápida

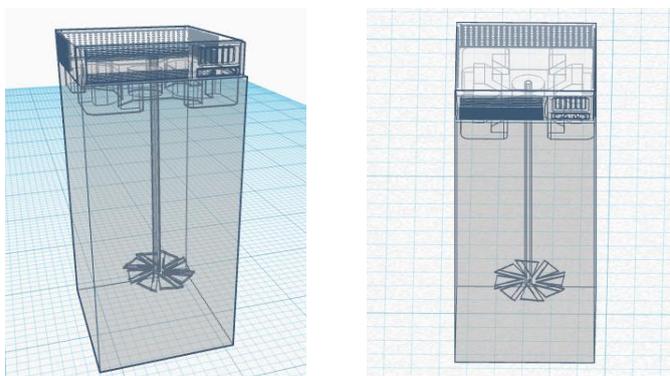
PARÂMETRO	EQUAÇÃO	VALOR (calculado/adotado)
Volume	$V = Q \cdot t_{det}$	198 mL
Largura do recipiente	$2,7 \leq \frac{L}{D} \leq 3,3 \rightarrow a$ $2,7 \leq \frac{H}{D} \leq 3,9 \rightarrow b$ $L = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{a}{b}} \cdot V$	$a = 2,7$ $b = 3,9$ $L = 5 \text{ cm}$
Profundidade útil do recipiente	$H = \frac{b}{a} \cdot L$	H = 1 cm
Diâmetro da turbina	$a = \frac{L}{D}$	D = 1,85 cm
Distância do disco da turbina até o fundo do recipiente.	$0,75 \leq \frac{h}{D} \leq 1,3$	1 cm
Comprimento da paleta	$B = \frac{D}{4}$	B = 0,05 cm
Altura da paleta	$W = \frac{D}{5}$	W = 0,37 cm
Largura da paleta	$x = \frac{D}{10}$	x = 0,185 cm
Número de rotações	$N = \sqrt{\mu \cdot V \cdot \frac{\left(\frac{G}{4,86 \times 10^{-2}}\right)}{D^5}}$	N = 35 rpm

Fonte - Adaptado de Campus (2018).

A escolha da turbina de fluxo radial para o sistema de agitação da unidade de mistura rápida está relacionado com a número de potência, pois quanto maior a potência dissipada, mais indicada para a mistura rápida. Como o tempo de detenção na mistura rápida foi de 4,4 s, o

fluxo será incidido diretamente no agitador, atendendo a recomendação da norma. O resultado final pode ser observado na Figura 5.7.

**Figura 5.7** - Projeto do misturador rápido.



Fonte - O autor (2023).

Os parâmetros hidráulicos relacionados à floculação são: tempo de detenção e gradiente de velocidade. De acordo com a NBR 12216:1992 a velocidade da água nos canais não pode ser menor que 0,10 m/s, isto para evitar a sedimentação do floco no próprio floculador. Além disso, também não pode ser muito elevada para evitar o cisalhamento do floco devendo ser limitada em 0,30 m/s, conforme apresentado na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** - Valores dimensionamento do floculador

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)			NBR 12.216:1992
Tempo de detenção (min.)	6,7			20 min e 30 min
Velocidade (cm/s)	1,3	0,5	0,4	10 cm/s e 30 cm/s
Gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )	18	15	12	$70 s^{-1}$ e $10 s^{-1}$

Fonte - Adapado de ABNT (1992).

No caso do projeto do modelo didático foi escolhido o floculador hidráulico com chicanas horizontais. Para o dimensionamento desta unidade, calcula-se a velocidade de escoamento nos trechos e nas curvas das chicanas. O valores das velocidades são encontrados a partir do dimensionamento das chicanas, Equações 4.5, 4.6 e 4.7. Como a unidade de floculação possui 3 câmaras de floculação, os cálculos realizados para o dimensionamento são equivalentes a cada câmara separadamente.

Os valores do espaçamento foram adotados para possibilitar o cálculo da seção de

escoamento (SC), por meio da Equação 4.5. Esses valores estão apresentados na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** - Valores de espaçamento entre as chicanas

$e_1$ (cm)	$e_2$ (cm)	$e_3$ (cm)
1	1,25	1,75

Fonte - O autor (2023).

De acordo com a NBR 12216:1992, o espaçamento mínimo entre as chicanas é de 0,60 m, podendo ser menor desde que elas sejam dotadas de dispositivos de fácil remoção. Os valores adotados estão abaixo da norma, em função das dimensões reduzidas e da vazão de projeto do modelo didático proposto.

Com os valores do espaçamento das chicanas e a altura da unidade de floculação foi possível calcular a seção de escoamento em cada trecho, como mostrado na Tabela 5.6.

**Tabela 5.6** - Valores da seção de escoamento

$SC_1$ (cm <sup>2</sup> )	$SC_2$ (cm <sup>2</sup> )	$SC_3$ (cm <sup>2</sup> )
30	70	80

Fonte - O autor (2023).

O número de chicanas foi obtido por meio da Equação 4.7, relacionando o comprimento do floculador e o espaçamento entre as chicanas. Os valores calculados são apresentados na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7** - Valores dos números de chicanas

$N_1$	$N_2$	$N_3$
29	23	16

Fonte - O autor (2023).

Encontrados os valores dos parâmetros do dimensionamento das chicanas, por meio da Equação 4.6 e Equação 4.8. As velocidades nos trechos e curvas, estão presentes nas Tabelas 5.8 e 5.9.

**Tabela 5.8** - Valores de velocidade nos trechos

$V_1$ - trecho 1 (cm/s)	$V_1$ - trecho 2 (cm/s)	$V_1$ - trecho 3 (cm/s)
1,5	1,2	0,8

Fonte - O autor (2023).

**Tabela 5.9** - Valores de velocidade nas curvas

$V_2$ - curva 1 (cm/s)	$V_2$ - curva 2 (cm/s)	$V_2$ - curva 3 (cm/s)
1	0,8	0,5

Fonte - O autor (2023).

Apesar das velocidades nos trechos e nas curvas apresentarem valores abaixo da norma, a diminuição das velocidades ao longo dos trechos atende a proposta, uma vez que nesta etapa de tratamento é preciso garantir que não ocorrerá o cisalhamento e a deposição dos flocos ao longo do canal.

O gradiente de velocidade é um parâmetro usual para o dimensionamento da unidade de floculação. Para o cálculo deste parâmetro, calcula-se as perdas de carga e o raio hidráulico por meio das Equações 4.11, 4.12, 4.13 e 4.15, respectivamente. Os valores encontrados para perda de carga localizada, perda de carga distribuída e perda de carga total nos trechos estão disponíveis na Tabela 5.10.

**Tabela 5.10** - Valores das perdas de cargas

	Trecho 1 (cm)	Trecho 2 (cm)	Trecho 3 (cm)
$h_{\text{Localizada}}$	1,5	0,9	0,6
$h_{\text{Distribuída}}$	0,0002	0,0001	0,000038
$H_{\text{Total}}$	1,5002	0,9001	0,600038

Fonte - O autor, 2023

O raio hidráulico entre as chicanas foi calculado por meio da Equação 4.15 e os valores encontrados são apresentados na Tabela 5.11.

**Tabela 5.11** - Valores de Raio Hidráulico entre as chicanas

$RH_1$ - trecho 1 (cm)	$RH_2$ - trecho 2 (cm)	$RH_3$ - trecho 3 (cm)
0,5	0,6	0,8

Fonte - O autor (2023).

Por fim, faz-se o cálculo do gradiente de velocidade para cada trecho, os valores são determinados através da Equação 4.14 e esses estão apresentados para cada trecho na Tabela 5.12.

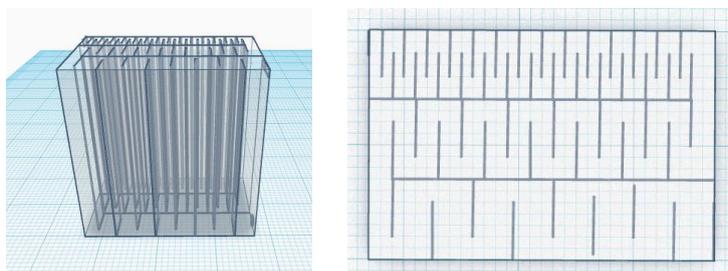
**Tabela 5.12** - Valores de Gradiente de velocidade

$G_{\text{trecho 1}} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$G_{\text{trecho 2}} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$G_{\text{trecho 3}} \text{ (s}^{-1}\text{)}$
18	15	12

Fonte - O autor (2023).

A NBR 12216:1992 recomenda que não sendo possível a realização de ensaios, deve ser previsto gradiente de velocidade máximo, no primeiro compartimento, de  $70 \text{ s}^{-1}$  e de  $10 \text{ s}^{-1}$  no último. Como pode-se observar os valores calculados estão abaixo da norma, no entanto, para o funcionamento da unidade de floculação, acredita-se que a variação decrescente do gradiente ao longo da série de canais atende ao modelo didático proposto.

Tal fato transforma-se num motivo pelo qual ocorre um questionamento didático e pedagógico que motive o discente a elaborar alternativas no dimensionamento para a solução do problema. O resultado do dimensionamento da unidade de floculação pode ser observado na Figura 5.8.

**Figura 5.8** - Projeto do Floculador.

Fonte - O autor (2023).

Com o dimensionamento do misturador rápido e o floculador, parte-se para o decantador cujas dimensões foram adotadas em  $80 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ . Sobre os tempos de detenção, Richter (2009), recomenda valores de 2h - 4h para decantadores convencionais e de 60 min para decantadores laminares. Os valores calculados são apresentados na Tabela 5.13.

**Tabela 5.13** - Valores de dimensionamento do decantador laminar e ciclo completo

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)	NBR 12.216:1992
Área	0,24 m <sup>2</sup>	-----
Volume	0,048 m <sup>3</sup>	-----
Tempo de detenção	18 min	< 60 min (laminar) 2h - 4h (ciclo completo)

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

A norma recomenda que a taxa de aplicação superficial para decantadores convencionais seja de  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$  para estações com capacidade de até  $1000 \text{ m}^3/\text{dia}$ , como apresentado na Figura 5.14.

**Tabela 5.14** - Valores dimensionados do decantador por ciclo completo

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)	NBR 12.216:1992
Fator de área	1 (adimensional)	1 (adimensional)
Velocidade de sedimentação	0,188 cm/min	20 a 60 m/dia; 1,74 cm/min
Taxa de aplicação superficial decantador por ciclo completo	16,2 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$	25 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

Porém a NBR 12216:1992 não prevê valores referentes a taxa de aplicação superficial em decantadores laminares, Tabela 5.15. Richter (2009), sugere que as taxas de aplicação superficial para decantadores convencionais e laminares sejam, respectivamente, inferiores a  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$  e  $150 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ .

**Tabela 5.15** - Valores dimensionados do decantador laminar

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)	NBR 12.216:1992
Relação comprimento/altura das placas	19 (adimensional)	$\geq 12$
Fator de área	8,98 (adimensional)	-----
Velocidade de sedimentação	0,126 cm/min	20 a 60 m/dia; 1,74 cm/min
Taxa de aplicação superficial decantador laminar	145,5 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$	-----

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

No caso do projeto, a taxa de aplicação de aplicação é menor que o limite máximo estabelecido pela NBR 12216:1992, atendendo o requisito. A relação comprimento/largura das placas, atendeu aos requisitos da norma, onde o valor deve ser superior ou igual a 12, adimensional.

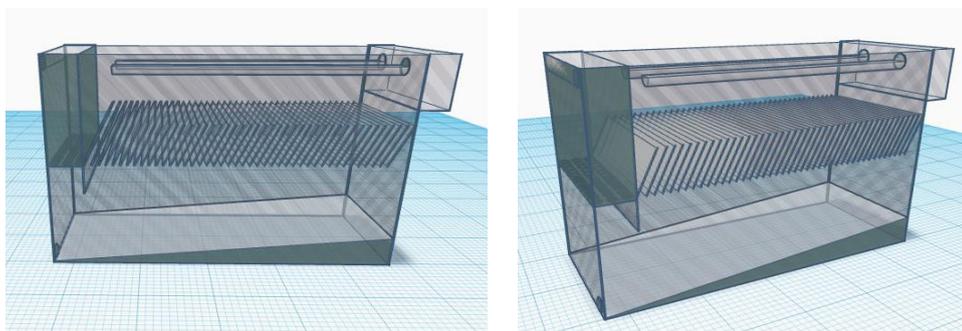
Do ponto vista prático, a escolha do ângulo de 60 graus para o dimensionamento do modelo

didático se deu em função da facilidade construtiva, além disso, com esse ângulo a maioria dos flocos conseguem por meio de seu peso desprender das placas e sedimentar no fundo do decantador, formando lodo. Segundo Richter (2009), o ângulo de 60 graus facilita a limpeza.

Ao estabelecer uma relação entre a vazão de projeto e o comprimento da calha de coleta de água decantada, é possível chegar na vazão das mesmas. Assim, o valor de vazão encontrado foi de 0,12 L/s.m, atendendo aos requisitos da NBR 12216:1992, que recomenda que caso não seja possível realizar ensaios para a determinação da velocidade de sedimentação, a vazão por metro linear de borda de calha deverá ser igual ou inferior a 1,8 L/(s × m).

Em relação à descarga de fundo, a remoção do lodo foi pensada para ser realizada manualmente. Neste sentido, para a inclinação de fundo adotou-se o valor da NBR 12216:1992, que estabelece que o fundo deve ter declividade mínima de 5% no sentido do ponto de descarga, onde ocorre maior acumulação de lodo. O resultado pode ser observado na Figura 5.9.

**Figura 5.9** - Projeto decantadores de alta taxa.



Fonte - O autor (2023).

A possibilidade de se trabalhar tanto com decantador por ciclo completo quanto de alta taxa possibilita aos discentes o entendimento de conceitos hidráulicos importantes como: perímetro hidráulico; raio hidráulico, número de Reynolds, regime de escoamento.

Os parâmetros de projeto para o dimensionamento dos filtros são vazão de projeto e a área do filtro, para encontrar a taxa de filtração. Para situações em que não é possível proceder a experiência em filtro-piloto, a NBR 12216:1992 estabelece que a taxa de filtração (TF) é limitada em 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para filtros de camada simples e a 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para filtro de camada dupla de areia e antracito.

Em relação às partes construtivas das unidades de filtração, a NBR 12216:1992 define que, quando não for possível realizar ensaios em um filtro piloto, as camadas devem seguir as especificações como mostrado na Figura 5.10.

**Figura 5.10** - Quadro com as condições de espessura e características granulométricas para diferentes camadas dos filtros.

<b>Camada simples</b>	<b>Camada dupla</b>	
Espessura da camada: 0,45 m	1,8 x TE areia $\leq$ TE antracito $\leq$ 2,1 x TE areia	
	Espessura total do leito: 60 a 80 cm (60% antracito e 40% areia)	
Tamanho efetivo (TE): 0,45 a 0,55 mm	<b>Antracito</b>	<b>Areia</b>
	TE 0,8 a 1,0 mm	TE 0,40 a 0,45 mm
Coeficiente de uniformidade: 1,4 a 1,6	Coeficiente de uniformidade: $\leq$ 1,4	Coeficiente de uniformidade: 1,4 a 1,6
	Espessura da camada: 0,45 m	Espessura da camada: 0,25 m

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

A taxa de filtração do projeto encontrada foi inferior ao limite estabelecido por norma, com valor de 64,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para os dois filtros, pois ambos possuem as mesmas dimensões. Portanto, o valor da taxa de filtração atende aos requisitos da norma.

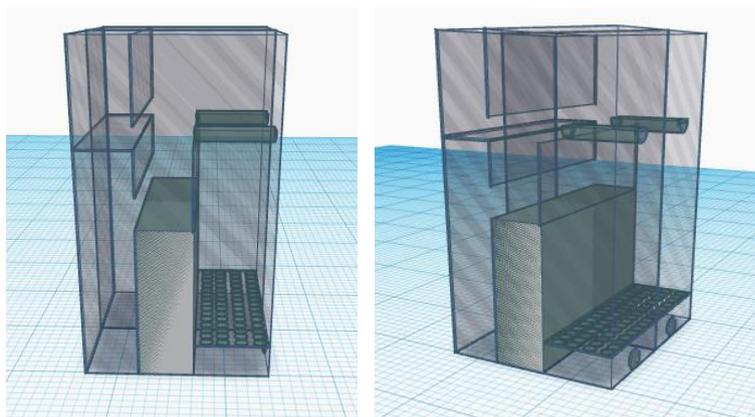
No filtro de camada dupla, adotou-se a espessura de 4,5 cm para camada suporte, 2,5 cm para a camada de areia e 4,5 cm para camada de antracito. A espessura da camada de areia do filtro de camada simples adotada foi de 4,5 cm, sendo que a camada suporte possui a mesma espessura do filtro de camada dupla. Foi adotado uma distância de 2 cm entre o fundo falso e o verdadeiro. Adotou-se orifícios do fundo falso de 0,3 cm para a passagem de água filtrada. Os valores pode ser observados na Tabela 5.16.

**Tabela 5.16** - Valores dimensionamento do filtro

PARÂMETRO	VALOR (calculado/adotado)	NBR 12.216:1992
Taxa filtração camada simples	75,6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	180 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia
Taxa filtração camada dupla		360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia
Camada suporte	4,5 cm	Fig. 5.15
Camada de areia	2,5 cm	Fig. 5.15
Camada de antracito	4,5 cm	Fig. 5.15
Distância entre o fundo falso e o verdadeiro	2 cm	-----
Diâmetro do orifício do fundo falso	0,3 cm	-----

Fonte - Adaptado de ABNT (1992).

Para a operação das unidades de filtração, adotou-se um sistema de filtração descendente com taxa declinante variável. Segundo Costa (2001), a entrada de água no método conhecido de taxa declinante variável deve ser afogada, localizando-se abaixo do nível mínimo de operação dos filtros, onde as unidades passam a constituir um sistema de vasos comunicantes, com níveis de água interdependentes. O resultado do dimensionamento dos filtros pode ser observado na Figura 5.11.

**Figura 5.11** - Projeto Filtros camada simples e camada dupla.

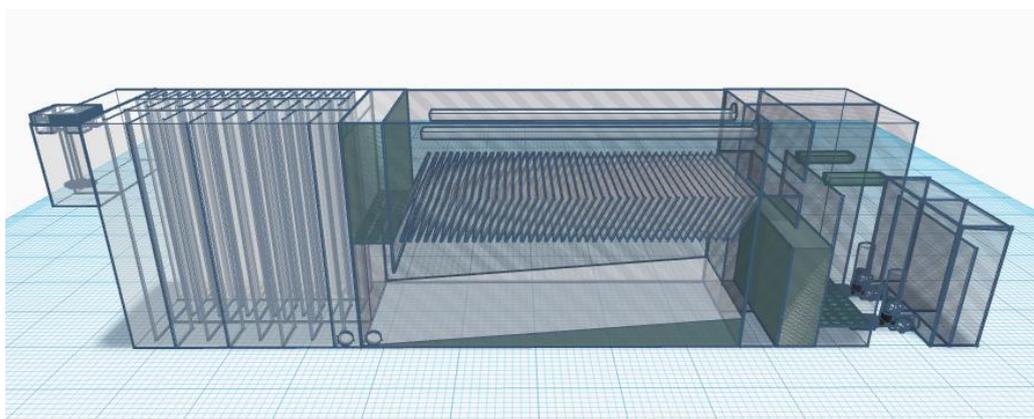
Fonte - O autor (2023).

No canal comum de alimentação de água aos filtros, será instalado uma régua para determinar os níveis de operação do filtro, quais sejam: N<sub>1</sub> (nível mínimo de operação), N<sub>2</sub> (nível que comanda a hora da lavagem do filtro) e N<sub>3</sub> (nível ao final da lavagem de um filtro).

Os filtros do modelo didático permitirão aos discentes a compreensão do funcionamento de um sistema de filtração com taxa declinante variável, tanto na filtração como na operação de lavagem.

Com os resultado dos cálculos de dimensionamento realizados em cada unidade de tratamento, chegou-se ao projeto completo do modelo didático de tratamento de água, Figura 5.12, onde o passo futuro é construí-lo para que seja utilizado como metodologia ativa de ensino-aprendizagem.

**Figura 5.12** - Projeto finalizado do modelo didático da ETA.



Fonte - Autor (2023).

## 6. CONCLUSÃO

O principal propósito desse trabalho foi dimensionar um modelo didático de uma estação de tratamento de água de modo que ela corresponda, de forma representativa, ao funcionamento de uma estação de tratamento de água real. Assim, conclui-se que a proposta do modelo didático representa uma construção que pode ser utilizada como referência que permite materializar os conceitos que envolvem o dimensionamento de estações de tratamento de água, tornando-os assimiláveis.

Ressalta-se também a importância de se seguir as recomendações da norma como forma de certificar os parâmetros envolvidos na concepção de estações de tratamento de água. Além da NBR 12216:1992, estudos relevantes sobre o tema são primordiais para nortear o dimensionamento. Apesar disso, constatou-se que a maioria dos parâmetros estudados atenderam aos requisitos da norma ou orientação de estudos de referência, haja vista a dimensão do modelo didático em relação a uma ETA em escala real. Entretanto, acredita-se que os valores encontrados são coerentes e permitem a compreensão conceitual do comportamento hidráulico de uma ETA escala real.

A proposta que norteou o dimensionamento do modelo didático é que, quando construído, preste como uma ferramenta de ensino-aprendizagem voltada para compreensão dos parâmetros relativos à concepção de projetos de estações de tratamento de água, permitindo aulas dinâmicas e participação ativa dos discentes.

A maioria dos parâmetros estudados atenderam os requisitos da NBR 12216:1992 e NBR 13403:1995. Os parâmetros que não atenderam se deu devido às pequenas dimensões do modelo didático, considerando as vazões bastante reduzidas para o dimensionamento de ambos os modelos didáticos deste trabalho.

A NBR 12216:1992 estabelece requisitos para a concepção de estação de tratamento de água em tamanho real, o que tornou o dimensionamento do modelo didático laborioso, haja vista as tentativas empíricas de encontrar a vazão de projeto como também a adequação dos dispositivos das unidades, como o floculador, em relação à definição do número de chicanas e equalização do gradiente, decantadores e filtros, que construtivamente, irão operar de maneira flexível. Contudo, o modelo didático atenderá aos objetivos de se trabalhar os conceitos inerentes ao dimensionamento de estação de tratamento de água para

abastecimento.

A concepção e aplicação do modelo didático do vertedor triangular asseverou a viabilidade de se trabalhar a metodologia ativa baseada em projeto no contexto explicativo em sala de aula, e possibilitou, por meio da vivência, pensar na proposta do presente trabalho para aplicação nas disciplinas de tratamento de água e correlatas. Embora o questionário aplicado assistiu poucos participantes, sendo uma amostra pequena, os resultados obtidos foram significativos para motivar o dimensionamento do modelo didático de estação de tratamento de água por ciclo completo, para concepção e aplicação futura.

É exequível a ampliação do modelo didático com o processo de captação, por meio das adutoras e também os medidores de vazão, que evidenciará a entrada de água bruta no sistema de tratamento de água. É possível construir um reservatório de distribuição para demonstrar o sistema de tratamento de água por ciclo completo como todo. A construção de outras unidades de tratamento para ser acopladas no modelo didático são interessantes para estudar outras tecnologias de tratamento.

Assim, a construção do modelo didático poderá auxiliar nos processos educativos e de formação acadêmica, enquanto metodologia ativa de aprendizagem, no que se refere a reprodução do processo de tratamento em ambientes de ensino, principalmente nas disciplinas acadêmicas do curso de engenharia relacionadas ao tratamento de água, bem como permitirá o desenvolvimento de novos resultados sobre as melhores condições operacionais do modelo didático à partir das práticas realizadas com os discentes.

## 7. REFERÊNCIAS

ABREU, José Ricardo Pinto de. **Contexto Atual do Ensino Médio: Metodologias Tradicionais e Ativas -Necessidades Pedagógicas dos Professores e da Estrutura das Escolas.** 2011. 105f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Planos de recursos hídricos e Enquadramento dos corpos de água.** Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos; v.5. Brasília: SAG, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216:** Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13403:** Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - escoamento livre. Rio de Janeiro. 1995.

ANTUNES, Jeferson; NASCIMENTO, Verônica S.; QUEIROZ, Zuleide F. Metodologias ativas na educação: projetos e cooperação na realidade educativa. **Informática na Educação: teoria & prática**, Porto Alegre, v.c22, n. 1, p. 111-127, jan/abr.2019.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica.** 8 ed. São Paulo-SP. Editora Edgard Blücher. 1998.

BARRAZA Larios, M. R.; MARQUEZ, G.L.O. Internet “versus: ensino: **A experiência do Laboratório de Pavimentação da UFJF.** In: VII encontro de ensino em Engenharia. UFF. Itaipava, RJ. 2001.

BENGTSON, H. H. **Open channel flow measurement – weirs and flumes.** SunCam. 2010. BOMFIM, M. I. D. R. M; NETO, F. J. S. L; TORREZ, M.N.F.B; RUMMERT, S. M. Formação docente em educação profissional técnica na área da saúde: a organização pedagógica do trabalho docente em saúde. **Educação à distância**, Fiocruz, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia.** Brasília, DF: Ministério da Educação; 2019.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde.** Diário Oficial da União. 5 Set 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS 888 de 04 de maio de 2021. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União. 7 mai 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.**

CALDEIRA, Camila Santana; GODOY, Marcela Teixeira; MORALES, Angélica Góis. **A educação ambiental e a interdisciplinaridade no contexto escolar.** In: Actas Congreso de

Medio Ambiente AUGM, 7mo, 2012, Argentina.

CAMPOS, Victor H. A. 2018. 78 f. **Concepção e dimensionamento de uma estação de tratamento de água de ciclo completo para abastecimento do Distrito De Miraporanga, em Uberlândia/MG.** Monografia - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

CANDAU, M. V. **A didática em questão.** 9ª edição. Petrópolis, Editora Vozes, 1991.

CARDOSO, I. M.; LIMA, R. S. Métodos ativos de aprendizagem: o uso do aprendizado baseado em problemas no ensino de Logística e Transportes. **Transportes**, v. 20, n. 3, p. 79-88, 2012.

COSTA, E. R. H. **Avaliação do funcionamento de uma instalação de filtração direta descendente com taxa declinante variável em escala real.** 260 p. 2001. Tese (Doutorado) – EESC, USP, São Carlos.

DELLA, Lourdes Aparecida Justina; FERLA, Marcio Ricardo. A utilização de modelos didáticos no ensino de genética-exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **Arquivos do Museu Dinâmico Interdisciplinar**, v. 10, n. 2, p. 35-40, 2013.

DEWEY, J. (1958) **A Filosofia em Reconstrução.** São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2 ed. São Carlos: Rima. v. 1 e 2. 2005.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido.** São Paulo, Editora Paz e Terra, 1996.

GARCÍA PÉREZ, F. F. Los modelos didáticos como instrumento de análisis y de intervención em larealidad educativa. **Biblio3W**: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales, Barcelona, n. 207, feb. 2000.

GRECA, Ileana Maria; MOREIRA, Marco Antônio. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. **Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre**, v. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 31-53, 2002.

JUSTINA, Lourdes Aparecida Della; FERLA, Marcio Ricardo. A utilização de modelos didáticos no ensino de Genética – Exemplo de representação de compactação do DNA eucarioto. **Arq Mudi**. v. 10, n. 2, p. 35-40, 2006.

LEÃO, D. M. M. Paradigmas Contemporâneos de Educação: Escola Tradicional e Escola Construtivista. **Cadernos de Pesquisa**, n. 107, p. 187-206, 07/1999 1999. ISSN 0100-1574.

LINHARES, Iraci; TASCETTO, Onildes Maria. A citologia no ensino fundamental. O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense. 1ed. Curitiba: **SEED**, v. 1, p. 1-25, 2011.

LOVATO, Fabrício L. et al.. Metodologias Ativas de Aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, Canoas, v.20, n.2, p.154-171, 2018.

MASSON, T. J., MIRANDA, L. F., MUNHOZ Jr., A. H., & CASTANHEIRA, A. M. P.

(2012) Metodologia de Ensino: Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL). **Anais do COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Belém, 1-10.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4 ed. São Carlos-SP. Editora Rima. 2006.

RIBEIRO, L. R. C.; MIZUKAMI, M. G. N. Student Assessment of a Problem-Based Learning Experiment in Civil Engineering Education. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 131, p. 13-18, 2005.

RICHTER, Carlos A. **Métodos e Tecnologia de Tratamento de Água**. São Paulo: Ed. Blucher. 2009.

SILVA, Ofélia de L.C. et al.. Caracterização de Ressalto Hidráulico em Escoamento Bruscamente Variado em Canais Retangulares. **RCT -Revista de Ciência e Tecnologia**, Boa Vista, v. 6, p.17, 2020.

SILVA, Tatiano G.; MORBECK, Lorena L. Utilização de Modelos Didáticos como Instrumento Pedagógico de Aprendizagem em Citologia. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**. v.13, N. 45. p. 594-608, 2019.

VIANNA, Marcos Rocha. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 3. ed., 1997.

ANEXO I

**Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais**

---

**INTRODUÇÃO À PRÁTICA EXPERIMENTAL****Questionário Semiestruturado**

**Objetivo da pesquisa:** aplicação da metodologia ativa Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning - PBL*) no processo de Ensino-Aprendizagem, utilizando modelo didático de um vertedouro triangular de parede delgada.

**Quantidade de participantes:**

**(1)** A metodologia ativa aplicada facilitou seu processo de Ensino-Aprendizagem na prática realizada, contribuindo com sua participação e transmissão de ideias?

- Muito  
 Pouco  
 Nada

**(2)** A metodologia ativa aplicada contribuiu para o desenvolvimento de sua habilidade analítica de problemas?

- Sim  
 Não

**(3)** Durante a prática, o/a professor(a) construiu um ambiente favorável ao aprendizado, atuando como facilitador do Ensino-Aprendizagem?

- Sim  
 Não

**(4)** Você acha válida a aplicação da Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning - PBL*) na graduação?

- Sim  
 Não

**(5)** Você se sentiu envolvido(a) no seu processo de Ensino - Aprendizagem e foi possível despertar o interesse em conhecer mais sobre metodologias ativas de Ensino-Aprendizagem?

- Sim  
 Não