

**UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Maria Eduarda da Silva Torres

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DESAERADOR DE ÁGUA PARA  
EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE GEOTECNIA**

Santa Cruz do Sul  
2023

Maria Eduarda da Silva Torres

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DESAERADOR DE ÁGUA PARA  
EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE GEOTECNIA**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Eliezer Henker

Santa Cruz do Sul

2023

Maria Eduarda da Silva Torres

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DESAERADOR DE ÁGUA PARA  
EQUIPAMENTOS DE ENSAIOS LABORATORIAIS DE GEOTECNIA**

Este trabalho foi apresentado a banca do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Eng. Eliezer Henker  
Professor Orientador – UNISC

Prof. Me. Eng. Cassio Denis de Oliveira  
Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Andréia Torres e Ednilton Torres, pelos ensinamentos passados a mim e pelo apoio não apenas neste trabalho, mas ao longo de toda a graduação, que foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço à empresa Owntec Soluções em Engenharia, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa. Aos amigos e colegas de trabalho, que de alguma forma contribuíram e me incentivaram para a realização deste trabalho, especialmente o Nicolás Parisotto, Luís Antônio Barbieri, Pedro Rossa, Guilherme Jost, Eduardo Pasche, Reginara Barros, Kevin Machado, Sislane Saraiva, Carlos Eduardo Flores e Gisele Alves. Por fim, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Eliezer Henker por me auxiliar na condução deste trabalho. Muito obrigada pelo apoio e contribuição de cada um de vocês.

“A essência da inovação não se limita a criar algo novo, mas sim em aprimorar de forma contínua o que já existe, reinventando-o com excelência.”

**(Geovane Bento)**

## RESUMO

O presente trabalho aborda a obtenção de água anóxica, com foco no estabelecimento dos critérios necessários para o desenvolvimento de um desaerador personalizado para a empresa Owntec. Onde o objetivo é pesquisar e testar métodos eficientes de desaeração da água, estabelecendo parâmetros adequados por meio de ensaios laboratoriais. A pesquisa transcorreu ao longo de 2023 na empresa Owntec - Soluções em Engenharia, localizada junto ao Tecnounisc - Parque Científico e Tecnológico e Itunisc - Incubadora Tecnológica da UNISC, localizado no Campus Unisc, sede Santa Cruz do Sul – RS, que atua no desenvolvimento de soluções para a Geotecnia, incluindo equipamentos Triaxiais Estáticos. Neste estudo, foram explorados diferentes métodos, envolvendo uma análise dos modelos de desaeração de água disponíveis no mercado, levando em consideração a aplicação laboratorial e os métodos já propostos. Para alcançar os objetivos, a metodologia empregada envolveu uma pesquisa aplicada ao estudo e comparação de diferentes métodos de desaeração da água, e a análise dos resultados obtidos por meio de testes experimentais. Os resultados indicaram que métodos específicos, como ultrassom + vácuo, mostraram uma eficácia de 70,41% na redução de oxigênio dissolvido, comparado a outros métodos já comercializados como o agitador + vácuo, que apresentou 36,43% de eficácia.

Palavras-chaves: Água Anóxica. Desaerador. Desoxigenação da Água. Ensaio Triaxiais Estáticos.

## **ABSTRACT**

The present work addresses the obtaining of anoxic water, focusing on establishing the necessary criteria for the development of a custom deaerator for the company Owntec. The objective is to research and test efficient methods of water deaeration, establishing suitable parameters through laboratory tests. The research took place throughout 2023 at Owntec - Engineering Solutions, located within the Tecnounisc - Scientific and Technological Park and Itunisc - UNISC Technological Incubator, located on the UNISC Campus, in Santa Cruz do Sul – RS, which specializes in the development of solutions for Geotechnics, including Static Triaxial equipment. In this study, different methods were explored, involving an analysis of water deaeration models available in the market, considering both laboratory application and previously proposed methods. To achieve the objectives, the methodology employed included applied research for the study and comparison of different water deaeration methods, and the analysis of results obtained through experimental tests. The results indicated that specific methods, such as ultrasound + vacuum, showed an efficacy of 70.41% in reducing dissolved oxygen, compared to other commercially available methods such as agitator + vacuum, which presented 36.43% efficacy.

**Keywords:** Anoxic Water. Deaerator. Water Deoxygenation. Static Triaxial Tests.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Estrutura da Sonda Polarográfica.....	23
Figura 02 - Extinção da Fluorescência.....	24
Figura 03 - Aparato com dois mecanismos físicos.....	27
Figura 04 - Equipamento Triaxial Estático Owntec.....	28
Figura 05 - Enchimento da câmara estática.....	29
Figura 06 – Sistema Desaerador GDS.....	35
Figura 07 – Desaerador Contenco.....	36
Figura 08 – Desaerador HM-4787 A.3F da HOUBOLDT.....	36
Figura 09 – Desaerador ELE International.....	37
Figura 10 – Sensor de Temperatura.....	38
Figura 11 – Oxímetro DO-510.....	39
Figura 12 – Materiais para Calibração .....	39
Figura 13 – Diagrama dos Materiais (Agitação) .....	41
Figura 14 – Ensaio com agitação magnética.....	41
Figura 15 – Diagrama dos Materiais (Lavadora Ultrassônica) .....	43
Figura 16 – Ensaio Ultrassom por Imersão .....	43
Figura 17 – Ensaio Ultrassom 1,5 l .....	45
Figura 18 – Diagrama dos Materiais (Vácuo) .....	46
Figura 19 – Ensaio Vácuo .....	47
Figura 20 – Diagrama dos Materiais (Ensaio Ultrassom + Vácuo) .....	48
Figura 21 – Ensaio Ultrassom + Vácuo.....	48
Figura 22 – Controle de Tela do Sonicador e Tampa Adaptada .....	50
Figura 23 – Ensaio Sonicador.....	50



Figura 24 – Diagrama dos Materiais (Agitador + Vácuo) .....	52
Figura 25 – Ensaio Agitador + Vácuo.....	52
Figura 26 – Vórtice .....	54
Figura 27 – Aletas Modelo Comercializado.....	54
Figura 28 – Adaptação em 3D .....	55
Figura 29 – Ensaio Agitador Adaptado + Vácuo.....	55
Figura 30 – Água Armazenada Galão 10 litros.....	57
Fluxograma 01 – Classificação da Pesquisa.....	30
Fluxograma 02 – Metodologia.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Resultados Agitação – Água Deionizada.....	42
Tabela 02 – Resultados Agitação – Água Tratada.....	42
Tabela 03 – Resultados Ultrassom por Imersão – Água Deionizada.....	44
Tabela 04 – Resultados Ultrassom por Imersão – Água Tratada.....	44
Tabela 05 – Resultados Ultrassom 1,5l – Água Deionizada.....	45
Tabela 06 – Resultados Ultrassom 1,5l – Água Tratada.....	46
Tabela 07 – Resultados Vácuo – Água Deionizada.....	47
Tabela 08 – Resultados Vácuo – Água Tratada.....	47
Tabela 09 – Resultados Ultrassom + Vácuo – Água Deionizada.....	49
Tabela 10 – Resultados Ultrassom + Vácuo – Água Tratada.....	49
Tabela 11 – Resultados Sonicador + Vácuo – Água Deionizada.....	51
Tabela 12 – Resultados Sonicador + Vácuo – Água Tratada.....	51
Tabela 13 – Resultados Agitador + Vácuo – Água Deionizada.....	52
Tabela 14 – Resultados Agitador + Vácuo – Água Tratada.....	53
Tabela 15 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo – Água Deionizada.....	56
Tabela 16 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo – Água Tratada.....	56
Tabela 17 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo (Galão) – Água Deionizada.....	57
Tabela 18 – Resultados Sonicador + Vácuo (Galão) – Água Tratada.....	58
Tabela 19 – Redução de OD.....	60
Tabela 20 – Comparação do Percentual (Agitador Adaptador + Vácuo).....	61
Tabela 21 – Comparação do Percentual (Sonicador + Vácuo).....	62
Tabela 22 – Comparação do Grupo Controle.....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Áreas de Aplicação do Oxigênio Dissolvido .....	17
Gráfico 02 – Publicações Referente ao Período.....	17
Gráfico 03 – Áreas de Aplicação do Desaerador .....	18
Gráfico 04 – Países com Artigos Publicados Relacionados ao tema.....	19
Gráfico 05 – Redução de OD.....	61
Gráfico 06 – Comparação do Percentual.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPs	Corpos de Prova
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
IQA	Índice de Qualidade das Águas
MW	Método de Winkler
OD	Oxigênio Dissolvido
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SI	Sistema Internacional de Unidades
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
CORSAN	Companhia Rio-grandense de Saneamento
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Sulfito de Sódio
mg/l	Miligramas por Litro
ppm	Partes por Milhão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Área e delimitação do tema .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Problema .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.1 Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Justificativa .....</b>	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Oxigênio dissolvido e água anóxica .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Métodos para medir oxigênio dissolvido .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Desaeradores .....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Aplicação de desaeradores na Geotecnia .....</b>	<b>29</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Classificação da pesquisa .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Definição da metodologia .....</b>	<b>33</b>
<b>4. MODELOS DE DESAERADORES .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Método por agitação.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Método por ultrassom .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Método vácuo.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Método ultrassom + vácuo.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Método agitador + vácuo.....</b>	<b>52</b>
<b>4.6 Agitador adaptado .....</b>	<b>54</b>
<b>4.7 Análise OD inicial.....</b>	<b>57</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>

<b>6.CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 Estudos futuros .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE A – AGITADOR ADAPTADO .....</b>	<b>72</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

A necessidade de alcançar métodos eficientes para obtenção de água anóxica em laboratórios e em processos industriais tem se mostrado uma demanda crescente (JOKAR et al., 2021).

Este desafio, especialmente relevante na área de engenharia e desenvolvimento de produtos, resultou em uma busca por técnicas que garantam a obtenção de resultados precisos e confiáveis em ensaios laboratoriais (PIZZOLATO et al., 2008).

As descobertas obtidas durante esse processo de pesquisa e validação são cruciais para atender às demandas especificamente no setor de Geotecnia, particularmente em testes triaxiais estáticos que visam a obtenção de informações precisas sobre resistência ao cisalhamento de solos, deformabilidade e poropressões.

A busca por soluções que garantam resultados confiáveis, essenciais para a segurança e eficácia de projetos e obras, é o ponto central deste estudo, tendo em vista a importância da água anóxica nos ensaios de Geotecnia, tais como em testes triaxiais estáticos de solos.

### **1.1 Área e delimitação do tema**

O trabalho se apresenta na área de projetos em desenvolvimento de produto, tendo como objetivo pesquisar e testar métodos para obtenção de água anóxica, onde o foco está na determinação de parâmetros e requisitos necessários para o desenvolvimento do desaerador para a empresa Owntec.

O desenvolvimento da pesquisa e validação foram conduzidas ao longo de 2023, na empresa Owntec – Soluções em Engenharia, localizada no polo da UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul, em Santa Cruz do Sul, bloco 55, no estado do Rio Grande do Sul. Empresa fundada na Incubadora Tecnológica da universidade o ITUNISC no ano de 2016, voltada para o meio educacional desenvolvendo equipamentos didáticos para os cursos de engenharia e também para laboratórios industriais de Geotecnia, referente as áreas de solos e asfaltos.

## 1.2 Problema

A empresa Owntec desenvolve equipamentos na área de Geotecnia, tal como o equipamento Triaxial Estático, que viabiliza ensaios para a obtenção da resistência ao cisalhamento de solos, deformabilidade e/ou poropressões.

Os equipamentos possuem câmaras estáticas composta por uma base e cabeçote em alumínio, um corpo em acrílico e tirantes em aço onde são alocados os corpos de prova (CPs) para os ensaios, a base contém conexões que permitem a leitura e aplicação da poropressão, pressão confinante e do vácuo.

Os laboratórios que comprem estes equipamentos para realizar os ensaios citados, necessitam preencher as câmaras com água, porém esta água não deve influenciar nos resultados.

Conforme Pizzolato *et al.* (2008) medidas incorretas ou imprecisas podem levar a decisões equivocadas, acarretando sérias consequências, incluindo desperdício de recursos materiais, financeiros e, em alguns casos, perda de vidas. As implicações humanas e econômicas decorrentes de decisões errôneas baseadas em medições inexatas são incalculáveis. Portanto, é crucial estabelecer medidas seguras e precisas que sejam aceitas pelas autoridades nacionais e internacionais. Os laboratórios desempenham um papel fundamental ao fornecer dados confiáveis, e uma forma de garantir sua confiabilidade é por meio da avaliação periódica de seu desempenho.

Para aumentar a confiabilidade e qualidade dos resultados obtidos é necessário utilizar água desaerada, uma água considerada anóxica que tem níveis baixos de oxigênio dissolvido. Diante disso, constatou-se que água anóxica é um dos itens fundamentais para execução de ensaios laboratoriais confiáveis a exemplo dos ensaios triaxiais estático. Desta forma, qual seria os requisitos do melhor método de desaeração de água capaz de atender a empresa Owntec?



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Testar métodos de obtenção de água anóxica para determinar requisitos de um desaerador da empresa Owntec.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Tem-se, por objetivos específicos:

- Pesquisar possíveis métodos de desaeração da água e suas utilizações em várias áreas.
- Determinar os parâmetros de água anóxica em ensaios laboratoriais.
- Estabelecer requisitos de um desaerador de água que faça o abastecimento dos equipamentos triaxiais estáticos da empresa Owntec.

## 1.4 Justificativa

A importância da pesquisa reside na necessidade de aprimorar as técnicas e soluções empregadas na Geotecnia, especificamente na área de ensaios triaxiais. A busca por soluções que garantam a qualidade e confiabilidade desses resultados é uma prioridade, uma vez que eles desempenham um papel crucial na segurança e eficácia de projetos e obras.

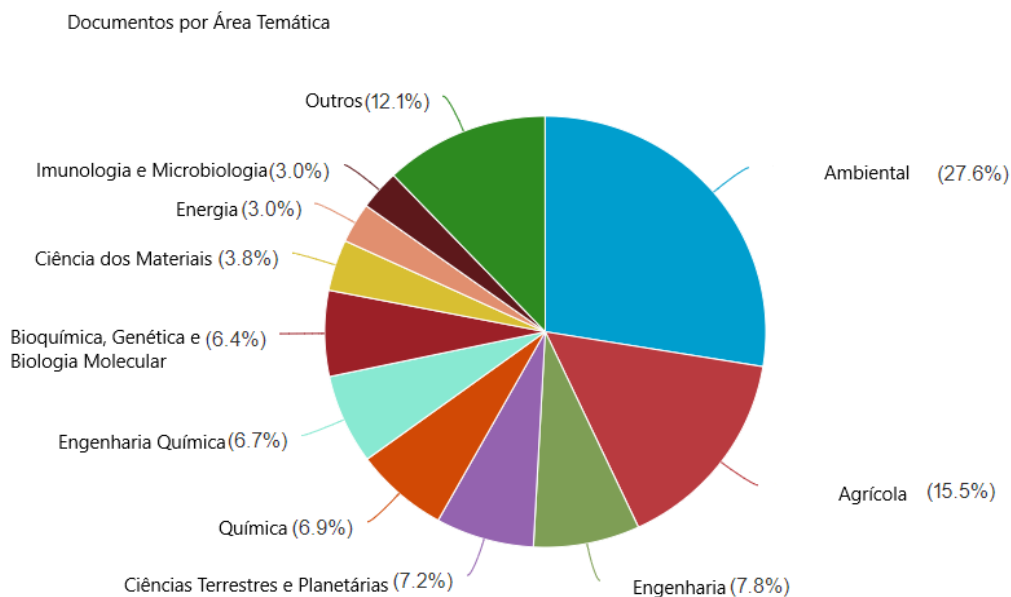
A empresa Owntec atua no desenvolvimento de várias soluções voltadas para a Geotecnia, contando com equipamentos na linha de ensaios triaxiais, que possuem câmaras triaxiais estáticas, para a obtenção da resistência ao cisalhamento e adensamento dos solos, incluindo informações quanto à deformabilidade e/ou poropressões, permitindo simular diferentes condições de drenagem e níveis de tensão, sem imposição prévia do plano de ruptura.

Para este tipo de equipamento a empresa precisa desenvolver uma solução desaeradora de água que contemple os parâmetros normativos para garantir a qualidade e a precisão dos resultados.

Neste sentido a pesquisa teve como objetivo criar um diferencial tecnológico para a empresa se destacar no mercado, onde a inovação é uma competência essencial para qualquer organização que deseja permanecer no mercado e se diferenciar da concorrência (MACHADO *et al.*, 2019).

Dado que a busca realizada na base de dados Scopus com a palavra-chave "dissolved oxygen" (oxigênio dissolvido) foi bem-sucedida, é relevante destacar que o estudo relacionado a obtenção de água com baixo nível de oxigênio dissolvido (OD), está presente em pesquisas que abrangem várias áreas como referenciado no Gráfico 01, por ser um processo importante em muitas indústrias, utilizado para reduzir a corrosão, a fraca transferência de calor e a oxidação de alimentos e medicamentos (JOKAR *et al.*, 2021).

### Gráfico 01 – Áreas de Aplicação do Oxigênio Dissolvido.

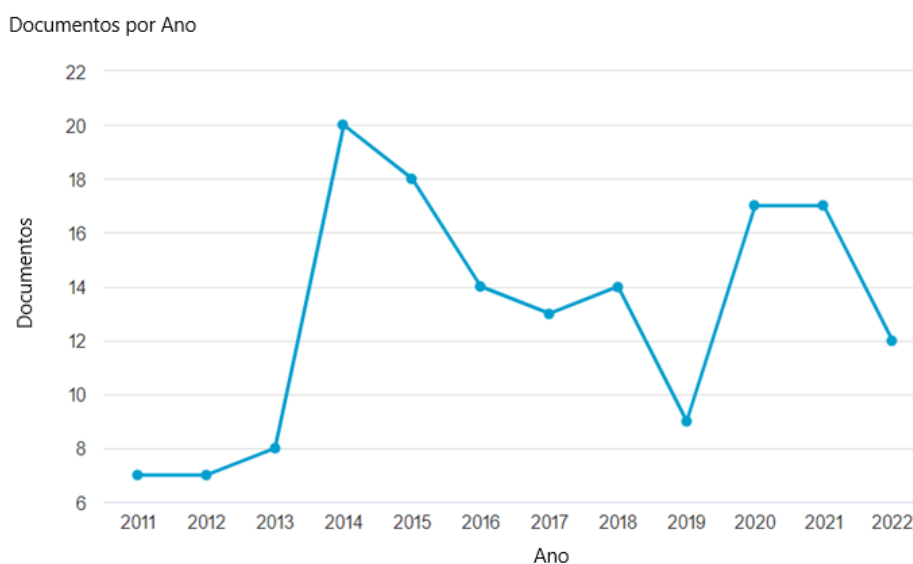


Fonte: Adaptado de Scopus (Elsevier), 2023.

Assim, a pesquisa revelou a existência de 28.890 publicações sobre o tema, confirmando sua ampla aplicação no período de 2011 a 2022.

No entanto, na busca referente ao “deaerator” (desaerador) constatou-se que no âmbito acadêmico, é pouco explorado conforme demonstrado no Gráfico 2, onde foram encontrados somente 156 publicações durante o mesmo período.

### Gráfico 02 – Publicações Referente ao Período.

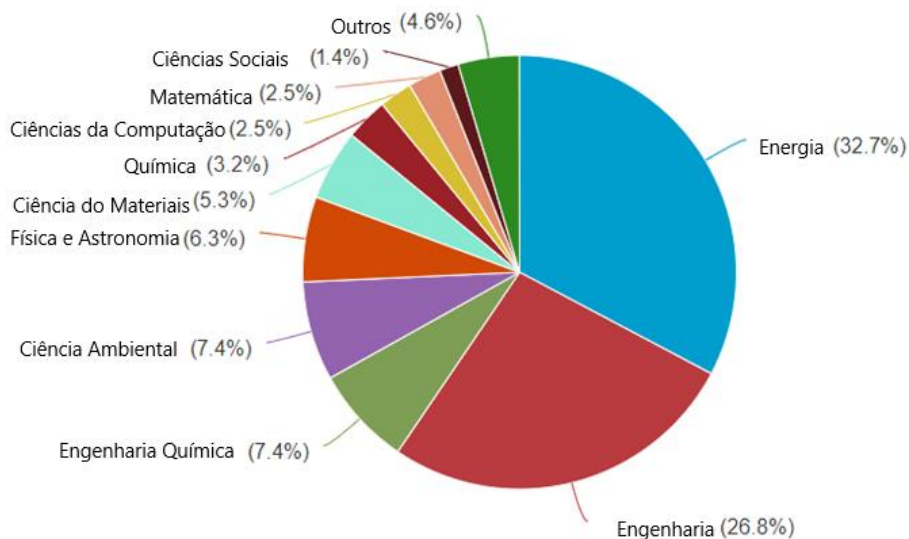


Fonte: Adaptado de Scopus (Elsevier), 2023.

As publicações em questão são predominantemente técnicas na área de energia e engenharia, conforme podem ser claramente apresentadas no Gráfico 03.

### Gráfico 03 – Áreas de Aplicação do Desaerador.

Documentos por Área Temática



Fonte: Adaptado de Scopus (Elsevier), 2023

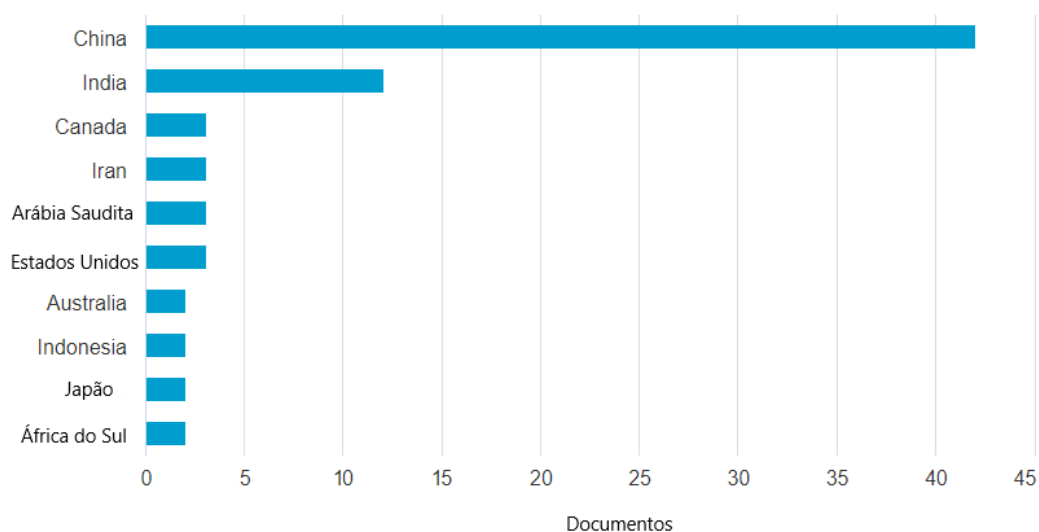
Essa tendência evidencia a importância do tema dentro desses campos específicos de estudo. No entanto, ao realizar um refinamento da pesquisa, restringindo-a à área da engenharia, o número de artigos localizados foi de apenas 76 publicações.

Além de reduzir a quantidade de artigos relacionados ao tema, é relevante notar que não foi identificada nenhuma pesquisa publicada no Brasil, o que ressalta a pertinência desta investigação. O Gráfico 04 apresenta a distribuição dos países de origem dos artigos relacionados ao assunto.

## Gráfico 04 – Países com Artigos Publicados Relacionados ao tema.

### Documentos por País ou Território

Compare as contagens de documentos de até 15 países/territórios



Fonte: Adaptado de Scopus (Elsevier), 2023.

Desta forma, é fundamental ressaltar que a ampliação do escopo essencial para o desenvolvimento técnico e tecnológico a nível nacional não apenas fortalece a área de pesquisa e desenvolvimento, mas também proporciona relevância ao curso de Engenharia Mecânica, onde os engenheiros têm a oportunidade de explorar e integrar conhecimentos de diversas áreas. Este fator transcende os limites acadêmicos, sendo de suma importância para empresas como a Owntec.

Tendo como oportunidade conforme os pré-requisitos de cada projeto e sua viabilidade obter uma larga escala de possibilidades de soluções, onde será necessário fazer um mapeamento prévio e analisar cada um dos métodos. Com isso, tem-se o caminho para realizar a integração do setor de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com a manufatura que trazem impactos positivos do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), assim podendo melhorar o desempenho da qualidade e da inovação (KANG *et al.*, 2021).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico tem como propósito a revisão das obras essenciais relacionadas ao tema escolhido, abrangendo livros, periódicos, artigos e dissertações (HELFER, HAAS e AGNES, 2019).

### 2.1 Oxigênio dissolvido e água anóxica

A determinação do oxigênio dissolvido e sua solubilidade são importantes, pois, além de ser necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático, ajuda a avaliar a qualidade da água e a detectar impactos ambientais, podendo sofrer variações com aumento de temperatura e diminuição da pressão (GUIMARÃES; RODRIGUES, 2012).

O parâmetro do Oxigênio Dissolvido (OD) é aplicado em diferentes setores, dentre esses setores temos a indústria de alimentos e bebidas, sendo utilizado para monitorar processos fermentativos e oxidativos, a aquicultura, para garantir a concentração adequada para o desenvolvimento de peixes, e a caracterização de ecossistemas aquáticos e em recursos hídricos que serve como indicador das condições da água estando diretamente ligado a conservação de espécies aeróbicas.

Segundo Ferraz, no Brasil está presente em um dos principais indicadores de qualidade da água, o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que qualifica a água destinada ao abastecimento público.

No conjunto de parâmetros empregados em seu cálculo como Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes, turbidez, pH, resíduo total, nitrogênio total, temperatura e fósforo total, utilizados para verificar a contaminação proveniente de esgoto doméstico, sendo o parâmetro de OD com maior peso (FERRAZ, 2020).

O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) define como água anóxica, águas que não possuem oxigênio dissolvido ou se encontram com uma concentração muito baixa inferior a 0,5 miligramas por litro (ZOGORSKI *et al.*, 2006).

Em pesquisas de qualidade de água em reservatórios, no qual é realizado o controle do coeficiente de estabilidade relativa de coluna da água para verificar a estabilidade térmica, onde valores elevados desse coeficiente podem ocasionar na

estratificação química nas quais os gases, compostos orgânicos e inorgânicos presentes podem apresentar distribuição não homogênea e possível anóxia.

Onde níveis baixos de OD são indicadores de más circunstâncias de qualidade e também de liberação de fósforo e aumento nos corpos hídricos de matéria orgânica ocasionando impactos ao bioma e ecossistema aquático como a eutrofização que é processo de poluição onde corpos d'água, como rios e lagos adquirem uma coloração turva causando a morte de espécies vegetais e animais (CARNEIRO, 2022).

A diminuição da solubilidade de gases em líquidos com o aumento da temperatura é um fenômeno comumente observado. Esse comportamento pode ser explicado por meio de um modelo termodinâmico simples. A solubilidade do oxigênio é mais elevada na água de baixa temperatura do que em água de maior temperatura, em que o gás oxigênio para não se afastarem se insere em espaços que existem na rede de ligações de hidrogênio das moléculas de água, sendo um processo exotérmico.

A solubilidade do oxigênio em água é aproximadamente proporcional à sua pressão parcial na atmosfera, conseqüentemente, uma atmosfera com uma pressão parcial de oxigênio mais elevada resultará em uma maior quantidade de oxigênio dissolvido na água (ALMEIDA, 2014).

## **2.2 Métodos para medir oxigênio dissolvido**

A obtenção de medições precisas da concentração de OD desempenha um papel de extrema importância no estudo de diferentes processos, na compreensão de seu impacto e na previsão das mudanças climáticas.

Um exemplo é no monitoramento dos oceanos em várias áreas em todo o mundo, sendo caracterizado por sua lentidão, observados por longos períodos de tempo, essa necessidade exige requisitos rigorosos aos métodos de medição empregados para monitorar o OD.

Segundo Irja Helm, é necessário que os resultados obtidos em diferentes momentos sejam comparáveis entre si, isso ocasiona que os sensores utilizados para tais medições devem apresentar alta estabilidade e reprodutibilidade, o que significa que os sensores devem passar por uma medição rigorosa, garantindo que os resultados gerados por eles sejam rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI).

A calibração dos sensores é realizada utilizando soluções de concentração de oxigênio conhecidas e com precisão, a fim de corrigir qualquer desvio do sensor devido a fatores como temperatura, salinidade e influências de pressão. A natureza inevitavelmente do oxigênio como analito que é a substância-alvo de interesse, adiciona uma valência significativa ao processo de calibração do sensor.

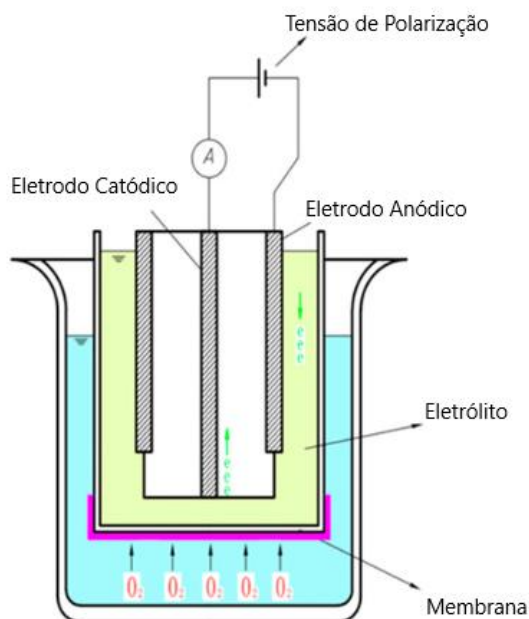
Existem duas abordagens para preparar soluções de manipulação de oxigênio com concentrações conhecidas. A primeira é saturar a água com ar em uma temperatura e pressão de ar fixa, utilizando as concentrações de saturação conhecidas. A segunda é preparar uma solução de OD e utilizar um método de medição para determinar sua concentração. No entanto, o desempenho dos sensores de oxigênio tem melhorado significativamente nos últimos anos (HELM *et al.*, 2012).

Existindo três tipos principais de métodos utilizados para quantificar o oxigênio em água: eletroquímicos, ópticos e puramente químicos (FERRAZ, 2020). O método mais comum de medição é o eletroquímico onde os sensores realizam medições no local, sendo divididos entre sensores do tipo corrente que são polarográficos ou galvânico, do tipo condutância que é baseado na mudança de condutividade da solução eletrolítica após a oxidação ou redução e do tipo potenciométrico que detecta a mudança através da mudança no potencial do eletrodo, as variações são referentes aos diferentes sinais de saída (WEI *et al.*, 2019).

Sensores polarográficos são mais utilizados pois excedem problemas de contaminação de eletrodo, conforme exposto na Figura 01. A sonda polarográfica de oxigênio dissolvido é formada de eletrodos de trabalho e auxiliares, um filme permeável ao ar e um eletrólito intracelular, e fios são adicionados entre ambos eletrodos, tendo as moléculas menores no eletrodo de trabalho ao aplicar uma tensão, resultando em mais átomos passando no filme seletivo permeável ao ar, formando a corrente de difusão.



**Figura 01 – Estrutura da Sonda Polarográfica.**



Fonte: Adaptado disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31527482/>. Acesso em 10 de maio de 2023.

Devido à capacidade de miniaturização, sensoriamento remoto, ausência de consumo de oxigênio nas medições, alta sensibilidade, entre outros fatores, os sensores ópticos têm se tornado populares. Uma grande parte dos sensores nesse segmento utiliza a fluorescência como base para suas medições (WEI et al., 2019).

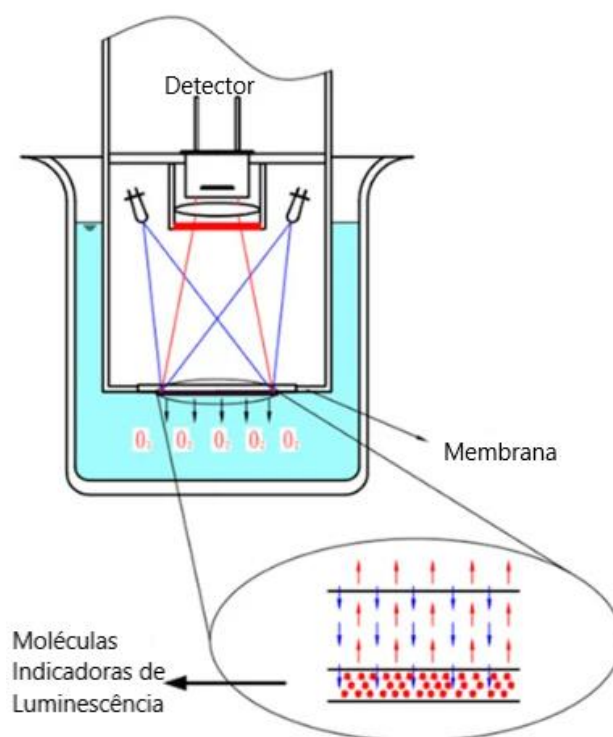
Uma configuração comum para esse tipo de sensor consiste em uma sonda indicadora fluorescente, que é sensível ao oxigênio, imobilizada em um polímero permeável ao oxigênio, conforme WEI et al., 2019.

A detecção de oxigênio dissolvido por extinção de fluorescência foi confirmada pela primeira vez em 1939, e o sensor de oxigênio dissolvido baseado no princípio de extinção de fluorescência está agora disponível comercialmente. O sensor de oxigênio dissolvido é um dispositivo para determinar a concentração de oxigênio dissolvido por meio da extinção da substância fluorescente após colisão com moléculas de oxigênio dissolvido. Depois que a substância fluorescente absorve a luz visível ou ultravioleta de um comprimento de onda específico, seus elétrons ganham energia e ficam excitados e liberam energia para retornar ao estado fundamental emitindo fluorescência. Uma vez que as colisões entre moléculas de oxigênio e substâncias fluorescentes excitadas interferem no processo de excitação de substâncias fluorescentes, o conteúdo de moléculas de oxigênio nas amostras

de água pode ser determinado de acordo com a intensidade de fluorescência ou o tempo de vida de fluorescência gerado na interface sensível.

De acordo com a ilustração apresentada na Figura 02, o sensor é constituído por fontes de luz de excitação, um filme de substratos que contém substâncias sensíveis à fluorescência e um elemento optoeletrônico responsável pela detecção. Quando o sensor de fluorescência é imerso na água e estimulado pela fonte de luz, ocorre uma reação de extinção da fluorescência na interface do filme sensível.

**Figura 02 – Extinção da Fluorescência.**



Fonte: Adaptado de FERRAZ, Camila Jerônimo. Método para Determinação de Oxigênio Dissolvido em Água Utilizando Complexo Mn(III)-EDTA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2020.

A transferência de energia é influenciada pela concentração de oxigênio no meio. Os indicadores comumente empregados nesse processo são metais do grupo da platina (como platina, paládio e rutênio), porfirinas e complexos de polipiridil de rutênio.

Esses indicadores exibem uma alta eficiência de luminescência, com picos espectrais rastreados na faixa visível, além de apresentarem um considerável deslocamento espectral (HELM et al., 2018).

O Método de Winkler (MW) é amplamente reconhecido como um método padrão iodométrico para a análise de oxigênio dissolvido. Diferentemente de outros métodos, o MW não requer calibração com o analito, pois é um método titulométrico. Isso o torna uma escolha confiável e precisa na quantificação do oxigênio extraído na amostra, no entanto o procedimento é demorado, com muitas operações manuais, alto gasto de amostras e reagentes e necessita de habilidades do analista (FERRAZ, 2020).

### **2.3 Desaeradores**

A remoção do oxigênio dissolvido na água desempenha um papel crucial em diversas indústrias, pois auxilia na redução da corrosão, melhora a transferência de calor e evita a oxidação de alimentos e medicamentos. Esse processo é de extrema importância para garantir a qualidade e a durabilidade dos produtos e para manter um ambiente seguro em diversos setores industriais (JOKAR et al., 2021).

Sendo assim, existem vários métodos utilizados para realizar a remoção de oxigênio dissolvido, dentre eles temos os físicos, químicos, eletroquímicos e biológicos. Os métodos físicos incluem desgaseificação térmica, a vácuo, purga de nitrogênio, dessorção, ultrassônica e desgaseificação através de uma membrana, os métodos químicos incluem o uso de reagentes como sulfito de sódio e hidrazina, e os métodos biológicos incluem o uso de levedura e glicose oxidase (ZECOS e STACK, 2019).

Todos os métodos mencionados apresentam suas restrições, tais como baixa eficiência, possibilidade de contaminação da água, custos operacionais e de capital elevados, baixa taxa de produção, restrições quanto ao volume de produção e protocolos complexos. Frequentemente, uma combinação de métodos é escolhida para evitar as deficiências dos métodos individuais, é essencial selecionar o método ideal ou uma combinação de métodos que sejam adequados ao propósito pretendido (ZECOS e STACK, 2019).

A desaeração térmica consiste na remoção do gás por meio de aquecimento do líquido até a temperatura de saturação, utilizando vapor. Tradicionalmente, o vapor de água é empregado como agente de desaeração em instalações desse tipo. No entanto, esse processo térmico de desaeração está associado à necessidade de

consumo adicional de vapor para a remoção do gás absorvido, bem como a perdas de calor durante a descarga do desaerador.

As tecnologias de desaeração possuem um impacto significativo na eficiência das usinas termoelétricas. Para aumentar a eficiência energética na geração de eletricidade, é necessário realizar o processo de desaeração utilizando a menor temperatura possível dos meios de transferência de calor. Isso permite o aquecimento das correntes de água inicial e desaerada.

Os custos adicionais de vapor necessários para a desaeração no ciclo de operação das usinas termelétricas, bem como as perdas adicionais de calor com a descarga do desaerador, são inerentes ao método de desaeração térmica (SHARAPOV e KAMALOVA, 2019).

Um dos métodos biológicos de remoção OD é baseado na transmissão da glicose pelo OD em uma taxa de reação relativamente baixa. Para contornar essa baixa taxa de reação, são empregadas oxidases, um grupo de enzimas que catalisam reações.

Enzimas são biomoléculas que possuem a capacidade de catalisar reações metabólicas e converter substratos em diferentes reações químicas, tudo isso sob condições suaves. Devido à sua versatilidade, elas são amplamente empregadas na biotecnologia e em diversas aplicações industriais.

No entanto, o alto custo de produção, a baixa estabilidade e a grande sensibilidade às condições do processo têm impulsionado a busca por novos métodos de utilização das enzimas. A imobilização das enzimas é uma abordagem que permite superar essas limitações, tornando-as reutilizáveis (ABDI *et al.*, 2016).

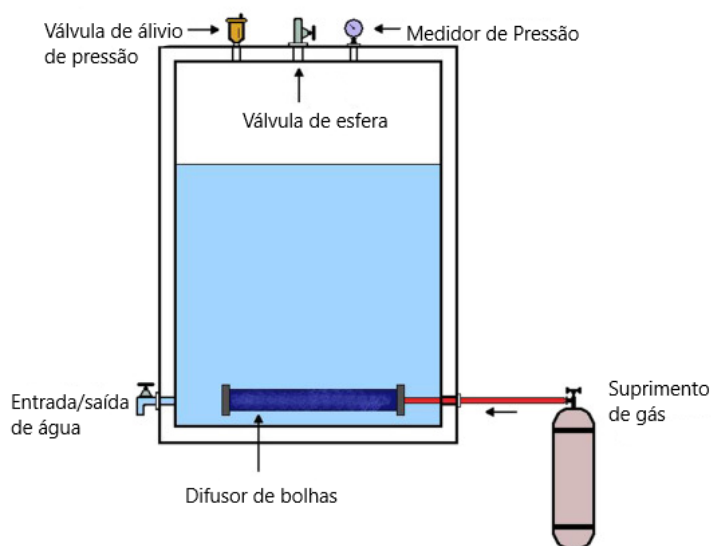
Estudado desde 1920, a desaeração ultrassônica é um fenômeno aplicado na indústria e no meio laboratorial, sendo aplicada principalmente em metais líquidos, porem teve seus parâmetros fundamentais de seus mecanismos e a cinética alcançados experimentalmente usando água, sendo citado em um dos primeiros estudos de cavitação em líquidos utilizando frequências de 190 a 950 KHz. Pesquisas sugerem que a desgaseificação é causada pela difusão do oxigênio dissolvido nas bolhas de cavitação, sua oscilação, seu crescimento e flutuação para a superfície (GALLEGO, 2015).

A cavitação acústica ocorre, por meio de ondas ultrassônicas, que por serem ondas sonoras, possuem etapas de ciclos de pressão e expansão. As etapas de compressão exercem pressão positiva no líquido, empurrando as moléculas,

enquanto as etapas de expansão desempenham pressão menor, movimentando as moléculas no sentido contrário. Na etapa de expansão, pode ocorrer bolhas (formação de cavidades), desde que a pressão associada a etapa de expansão seja maior do que a tensão entre as camadas do líquido (ANTES, 2011).

Correlacionado aos métodos citados, é possível encontrar pesquisas de desenvolvimento de desaeradores para inúmeras finalidades, como utilizando a purga com nitrogênio e absorção superficial dois mecanismos físicos, considerado uma técnica eficiente e simples. Onde foi fabricado um tanque dentro de uma proteção de aço que evita a deformação, equipado com um manômetro, uma válvula de esfera e uma válvula de alívio para manter a pressão desejada como está representado na Figura 03, na extremidade inferior tem uma válvula de esfera para a entrada e saída de água e o suprimento regulado de nitrogênio.

**Figura 03 – Aparato com dois mecanismos físicos.**



Fonte: Adaptado disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388248119300980#bb0015>. Acesso em 30 de maio de 2023.

O design é modular atendendo as necessidades de lote de produção, permitindo que o usuário otimize seu desempenho e economia ajustando a taxa e a pressão de injeção de nitrogênio. Porém, como tem suas limitações, não é uma produção contínua e a água produzida é saturada com nitrogênio dissolvido, embora o gás seja inerte (ZECOS e STACK, 2019).

## 2.4 Aplicação de desaeradores na Geotecnia

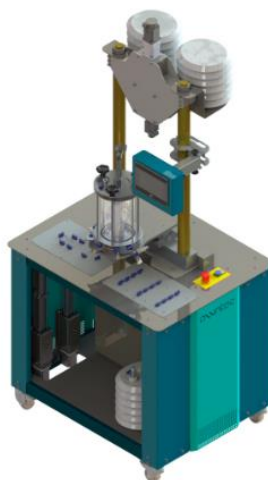
A Geotecnia se aperfeiçoa a partir da análise e experiência do comportamento geológico, sendo necessário sempre observar as características dos solos, conforme a essência da engenharia da mecânica dos solos e das rochas. Onde todas as obras de engenharia civil demandam um estudo referente as tensões que serão aplicadas, possíveis escavações e escoamento de água, para a execução do projeto (PINTO, 2016).

A composição dos solos tem origem da decomposição de rochas que formavam a crosta terrestre, que sofrem algumas variações conforme suas características, a presença da flora e da fauna e variações de temperatura (PINTO, 2016).

A geologia é o segmento que estuda a origem, histórias, formação e a evolução da formação e composição mineralógica da Terra. (QUEIROZ, 2016).

Equipamentos Triaxial Estáticos como na Figura 04, servem para a obtenção de ensaios da resistência ao cisalhamento, obtendo assim informações relativas à análise mecânica dos solos, simulando diferentes condições de drenagem e níveis de tensão.

**Figura 04 – Equipamento Triaxial Estático Owntec.**



Fonte: Disponível em: <https://www.owntec.com.br/produto/ms-154-triaxial-estatico/>. Acesso em 14 de junho de 2023.

Para realização desses ensaios é feita a compactação da amostra de solo realizando a modelagem do tamanho necessário especificações conforme às normas, após é colocado na base da câmara estática posicionando com a membrana de látex, e com a instalação da parte superior de acrílico e o enchimento da mesma com água desaerada como está representado na Figura 05 (ELOI, 2021).

**Figura 05 – Enchimento da câmara estática.**



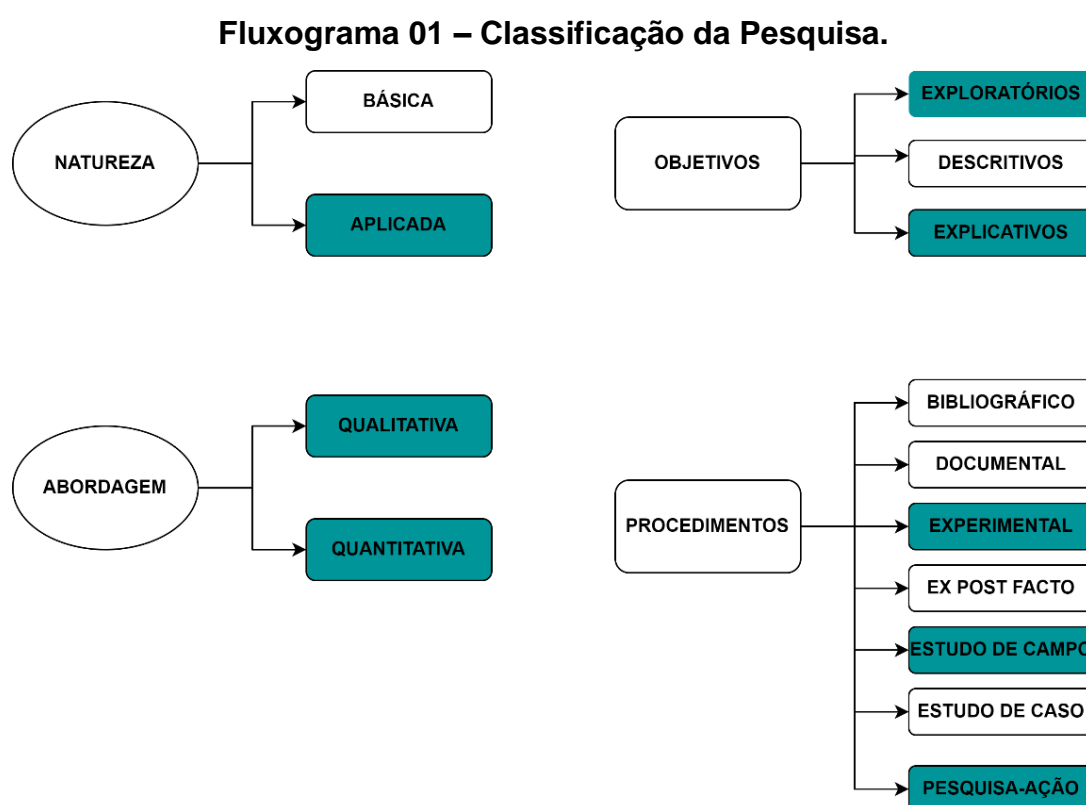
Fonte: Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/133473/2/459340.pdf>. Acesso em 10 de junho de 2023.

A necessidade fundamental de utilizar água desaerada neste processo é garantir leituras corretas e precisas, eliminando a interferência de bolhas de ar nos medidores dos ensaios presentes nos equipamentos (RAMIRES, 2010).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia é uma seção que tem como objetivo principal classificar o tipo de pesquisa adotada e detalhar os procedimentos e atividades que serão realizadas durante o trabalho, apresentando as ferramentas, técnicas, métodos científicos, fluxogramas e descritivo das atividades a serem realizadas para alcançar os objetivos propostos.

#### 3.1 Classificação da pesquisa



Fonte: Autora, 2023.

A classificação da metodologia do trabalho conforme demonstrado no fluxograma é de natureza aplicada no seu propósito fundamental é adquirir conhecimentos que possam ser aplicados diretamente na solução de problemas específicos, abrangendo questões verídicas e de interesse local (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 51).

Com sua abordagem da problemática sendo quali-quantitativa, considerando as duas abordagens, a qualitativa qual busca a interpretação dos fenômenos e na



atribuição de significados, coletando dados no ambiente natural e valorizando o processo.

Ao contrário da pesquisa quantitativa os dados coletados são descritivos, representando a realidade experimentada de forma ampla, não buscando provar hipóteses predefinidas, mas pode ser guiada por um quadro teórico na coleta, análise e interpretação dos dados.

E a quantitativa pois irá utilizar recursos como percentual, média, desvio padrão que são técnicas estatísticas, buscando correlacionar as variáveis, para garantir a confiabilidade dos resultados durante a análise dos dados (PRODANOV; FREITAS, 2013, p.69 e 70).

Como objetivo tem-se uma pesquisa explicativa, que busca identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos estudados, sendo o tipo de pesquisa que tem maior possibilidade e aproximação com o real e concreto, busca-se encontrar o motivo, a razão ou explicação do porquê algo é, acontece ou se apresenta. E também se apresenta como uma pesquisa exploratória, que tem como objetivo conhecer melhor o problema possibilitando uma nova visão, utilizando pesquisas bibliográficas e estudos de caso (MARCELINO,2020, p.17 e 18).

Os procedimentos utilizados são o experimental, que é um método normalmente desenvolvido em laboratórios onde são testando determinados fenômenos de forma controlada (MARCELINO, 2020, p.19).

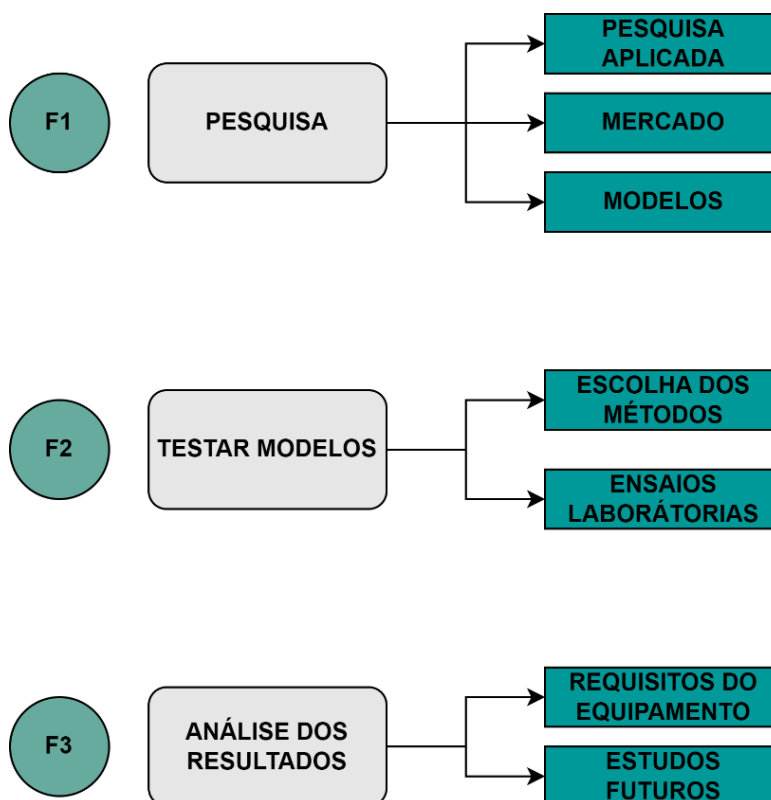
O método de estudo de campo, que consiste na observação de fatos e fenômenos, realizando registro de como ocorrem, e suas variáveis para analisar posteriormente, tendo a primeira fase da pesquisa bibliográfica para maior entendimento do problema, a segunda fase é determinar as técnicas que serão empregadas na coleta de dados e definição das amostras e na última fase é definido as técnicas para os registros da coleta de dados para servirem de análise da conclusão (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 59).

E também a pesquisa-ação que é um tipo de pesquisa ativa pois a partir deste levantamento de dados será realizado uma ação e avaliação dos resultados, sendo executada por meio da fase exploratória, identificação do problema, seleção da atmosfera, coleta, análise e interpretação de dados, elaboração da ação e da apresentação dos resultados. Se a partir da avaliação o problema não for resolvido, é possível buscar novas estratégias para alcançar o objetivo (MARCELINO, 2020, p.12).

### 3.2 Definição da metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento deste trabalho consiste em três fases, as quais estão representadas em um fluxograma geral (Fluxograma 02), seguidas de uma justificativa para cada etapa.

**Fluxograma 02 – Metodologia.**



Fonte: Autora, 2023.

Na fase inicial, foi conduzida uma pesquisa aplicada, buscando por informações nas bases de dados da SCOPUS (Elsevier), ScienceDirect (Elsevier) e SciEL. O propósito foi a identificação de estudos relevantes sobre o tema, para este fim, foram empregadas cinco palavras-chave em português e inglês: “oxigênio dissolvido”, “desaerador”, “água anóxica”, “desgaseificação” e “desoxigenação”.

Esse método permitiu mapear o mercado de aplicação das pesquisas existentes, explorando os diferentes modelos de desaeração e a concorrência por meio de benchmarking, que é um termo de comparação e medição do padrão

referência, este processo comparativo é formado por uma sequência de procedimentos para identificar o melhor padrão, onde este padrão/marca é denominado de “benchmark”.

Um exemplo de benchmarking, é do Toyoda Kiichiro, em 1950, onde foi analisado o funcionamento de um supermercado, observando a metodologia de reposição e controle das mercadorias colocadas nas prateleiras. Com isso, Taichi Ohno adotou este princípio de reposição de estoque, na Toyota, chamado de “princípio do supermercado” que deu origem à produção puxada e ao Kanban (ALBERTIN, 2015).

Posteriormente, após a identificação dos modelos de desaeração de água, na segunda fase, foi realizada uma avaliação minuciosa para selecionar os métodos mais adequados, considerando a aplicação laboratorial e os métodos já propostos no mercado.

Com isso, foram elaboradas rotinas de ensaio planejadas, considerando os materiais disponíveis que melhor se adequassem à realização dos experimentos, com a definição da sequência experimental dos equipamentos a serem utilizados e a variação de amostras de água a serem empregadas nos experimentos.

As descrições detalhadas de cada uma das rotinas de ensaio estão apresentadas na etapa de desenvolvimento. Nesta etapa foi possível encontrar diagramas dos materiais utilizados, bem como os resultados obtidos, os quais foram registrados e organizados em tabelas para uma compreensão mais clara e sistemática do desempenho dos experimentos.

Na terceira fase, procedeu-se à análise dos dados encontrados durante os testes, com a utilização da diferença em porcentagem que permite uma avaliação mais abrangente e comparativa da eficácia do processo de desaeração, considerando as discrepâncias nos valores iniciais de base de cada amostra entre os diferentes modelos.

Enquanto a análise em miligramas por litro (mg/l) não possibilitaria uma comparação direta devido às diferenças absolutas nos valores iniciais, a representação em porcentagem ressalta o impacto relativo do processo em cada amostra. O cálculo inicia dividindo o Valor Final pelo Valor Inicial. O resultado dessa divisão é subtraído por 1. Essa diferença é então multiplicada por 100 para expressar o valor como uma porcentagem.

A fórmula para calcular esse valor percentual (eq. 1) é representada da seguinte forma:

$$\text{Valor Percentual} = \left(1 - \frac{\text{Valor Final}}{\text{Valor Inicial}}\right) \times 100 \quad (1)$$

Essa fórmula permite destacar a variação percentual entre o valor final e o valor inicial, fornecendo uma medida relativa do aumento ou diminuição percentual entre os dois valores (OLIVEIRA, 2023).

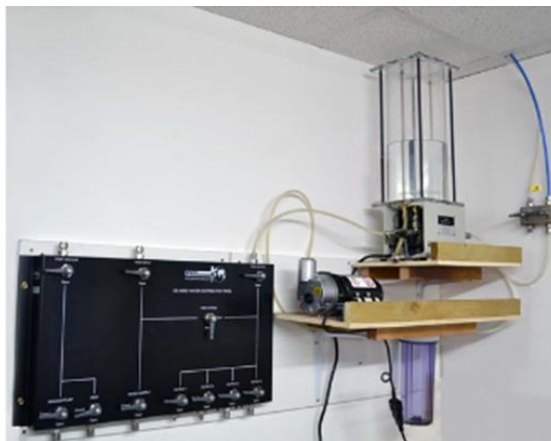
Com base nos resultados obtidos, foi possível definir o método adequado para atender aos requisitos do equipamento. Além da seleção do método mais eficaz, foram identificadas oportunidades de aprimoramento no processo, esta etapa abriu caminhos para estudos futuros.

#### 4. MODELOS DE DESAERADORES

Durante a primeira fase do processo, após a pesquisa aplicada em artigos sobre desaeradores e métodos de desaeração, foi realizando o benchmarking com objetivo de compreender quais as empresas que possuem um produto com a mesma finalidade de obter água com uma porcentagem baixa de oxigênio dissolvido para ser utilizada em ensaios laboratoriais de Geotecnia.

Entre as empresas encontradas que estão no mesmo setor e ramo de atuação da empresa Owntec, temos a GDS Instruments, apresenta um sistema de desaeração, conforme ilustrado na Figura 06, prometendo a produção de água desaerada com uma concentração de 1 ppm (partes por milhão), sem a necessidade de aplicação de calor. Este sistema é capaz de processar 8 litros de água, utilizando bombas de vácuo acionadas por correias (GDS Instruments, 2023).

**Figura 06 – Sistema Desaerador GDS.**



Fonte: Disponível em: <https://www.gdsinstruments.com/gds-products/de-aired-water-distribution-panel>. Acesso em 11 de agosto de 2023.

A empresa Contenco, por sua vez, oferece um equipamento por desaeração a vácuo, que funciona com saída da água por gravidade. Este equipamento tem capacidade para 20 litros no reservatório, fabricado em aço e sua tubulação em cobre, conforme demonstrado na Figura 07 (Contenco, 2023).

**Figura 07 – Desaerador Contenco.**



Fonte: Disponível em: <https://contenco.com.br/produto/deaerador-de-agua-i-1087-b/>. Acesso em 13 de agosto de 2023.

Outra empresa é a HUBOLDT que tem o equipamento HM-4187A.3F, um desaerador com capacidade para 8 litros. Este dispositivo utiliza a agitação mecânica combinada com o vácuo, que promete um nível de menos de 0,5 ppm de oxigênio dissolvido em um período de 4 minutos, o modelo do tanque encontra-se representado na Figura 08 (HUBOLDT, 2023).

**Figura 08 – Desaerador HM-4187A.3F da HUBOLDT.**



Fonte: Disponível em: <https://www.humboldtmg.com/de-airing-water-system-120220v-5060hz.html>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

Já a empresa ELE International também possui um desaerador, caracterizado por ser um modelo compacto e independente prometendo desaerar a água de forma rápida e eficaz, utilizando um sistema de vácuo, permitindo a circulação contínua da água no tanque, com capacidade de no máximo 15 litros conforme representado na Figura 09 (ELE Internacional, 2023).

**Figura 09 – Desaerador ELE International.**



Fonte: Disponível em: <https://www.ele.com/product/deaired-water-apparatus-15-litre-capacity-/271>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

A partir do benchmarking e da pesquisa aplicada dos métodos de desaeração foi possível identificar quais os modelos seriam viáveis para testes laboratoriais, os métodos escolhidos foram a desaeração por meio de agitação, ultrassom, vácuo, e a combinação de agitação e vácuo, e ultrassom e vácuo.

Considerando as opções apresentadas, a definição dos métodos viáveis para a aplicação futura foi realizada pelo responsável da empresa em conjunto com a equipe técnica. Foram cuidadosamente analisados e selecionados os métodos que se mostraram mais adequados para possíveis aplicações futuras, levando em conta a avaliação conjunta desses profissionais.

Os procedimentos laboratoriais foram realizados no laboratório de oleoquímica e biotecnologia do bloco 55, sala 5501, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, com os equipamentos disponibilizados pela universidade para o desenvolvimento deste trabalho.

Considerando que para aplicação em laboratórios de testes de solos, a água utilizada não é especificamente designada, mas sim proveniente de recursos disponíveis no laboratório, muitas vezes sendo reutilizada em ensaios subsequentes.

O tipo de água que foi utilizada foi a deionizada que possui baixo nível de íons, compostos orgânicos e inorgânicos, após passar por leitos de resinas trocadoras de íons (RAMOS, 2007), e a água da tratada da CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento).

Em todas as amostras foram monitoradas com o auxílio de um sensor de temperatura calibrado, a temperatura tanto no início quanto no término do processo como na Figura 10, e também a quantidade inicial e final de oxigênio dissolvido das amostras foram verificadas com o oxímetro do modelo DO-510 da Well-Knit com uma faixa de medição de 0,00 a 19,99 mg/l (miligramas por litro) com precisão da leitura em 0,03 mg/l. O equipamento da Figura 11 foi uma aquisição da empresa Owntec para contribuir no desenvolvimento desta pesquisa.

**Figura 10 – Sensor de Temperatura.**



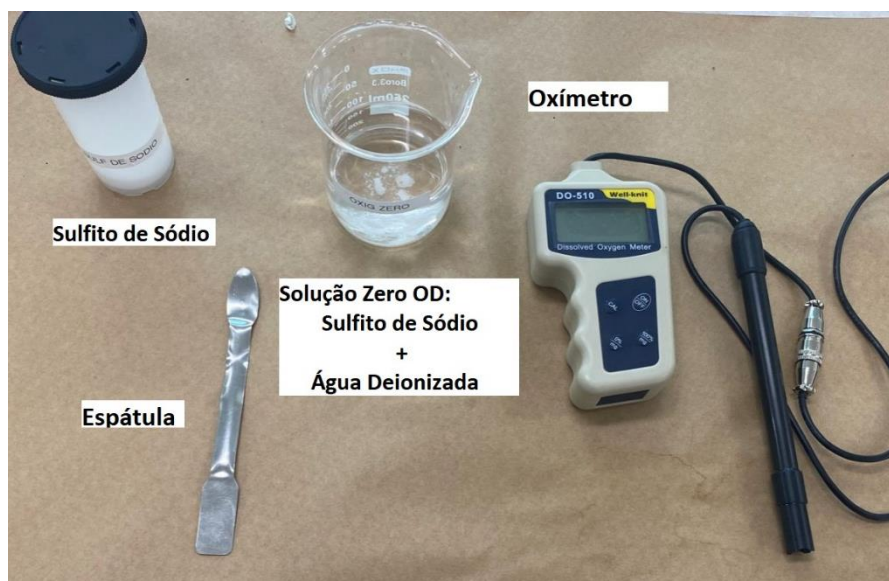
Fonte: Autora, 2023.



**Figura 11 – Oxímetro DO-510.**

Fonte: Autora, 2023.

O oxímetro é uma sonda galvânica de OD, constituída por um eletrodo, para sua utilização é necessário realizar sua calibração com frequência para garantir confiabilidade nos resultados o material utilizado para realizar a calibração está referenciado na Figura 12.

**Figura 12 – Materiais para Calibração.**

Fonte: Autora, 2023.

A calibração deste aparelho como instruída no manual, deve ser realizada em duas fases a primeira é calibrar o 0% OD (0,00 mg/l), com o auxílio de uma solução zero oxigênio dissolvido, que pode ser preparada com sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) diluído em água deionizada, até resquícios do sódio cristalizarem no fundo que seria o ponto de saturação (ERT, 2020).

Para iniciar é necessário tirar a membrana da sonda e imergir na solução zero oxigênio dissolvido, até o medidor mostrar 0,00 mg/l, e apertar os botões identificados com “CAL” e em seguida o “0%/mg”.

A segunda fase é calibrar 100% OD (100,00 mg/l), para isso a ponta do eletrodo deve ser limpa com água deionizada e colocado a membrana novamente, onde o sensor repousará por 20 minutos em ambiente com ar limpo, onde o medidor se aproximará de uma diferença de 100% a 105%, e pode-se apertar os botões identificados com “CAL” e depois o “100%/mg”, e a calibração do seu aparelho estará concluída para iniciar os ensaios.

Os experimentos foram conduzidos utilizando uma metodologia que envolve três réplicas, ampliando a confiabilidade dos resultados, já que a repetibilidade é crucial para a comparação entre os grupos. Além disso, foi empregado um grupo controle, que são amostras experimentais que não sofrem nenhuma intervenção dos métodos testados, com o propósito de realizar a comparação dos resultados obtidos (SOUZA; *et al*, 2002).

Durante os ensaios experimentais, foi adotado um tempo de duração padrão de 10 minutos para cada experimento. Este período foi estabelecido para garantir uma avaliação consistente e comparativa entre os diferentes métodos. Além disso, o tempo destinado à leitura dos valores de temperatura e OD foi limitado a um máximo de dois minutos para cada leitura, permitindo a estabilização dos leitores e garantindo a precisão dos resultados obtidos.

#### **4.1 Método por agitação**

Este primeiro modelo tem como objetivo testar a funcionalidade por agitação mecânica, para isso foi utilizado um agitador magnético da marca Fisatom 752A - 4 Litros - 360°C, com velocidade controlada por circuito eletrônico, proporcionando uma rotação de 120 a 1800 RPM.

Além do agitador foi utilizado dois becker graduados de 600ml e uma barra magnética também conhecida como peixinho, muito utilizada nos agitadores para homogeneizar soluções, o material utilizado está representado na Figura 13.

**Figura 13 – Diagrama dos Materiais (Agitação)**



Fonte: Autora, 2023.

A frequência de rotação utilizada nos ensaios foi ajustada na chave reguladora no número 3 que é aproximadamente 576 rpm, conforme Figura 14. Essa escolha foi feita devido ao fato de que rotações mais elevadas resultaram em uma excessiva movimentação da água

**Figura 14 – Ensaio com agitação magnética.**



Fonte: Autora, 2023

Na Tabela 01, onde temos a agitação com água deionizada, observamos os valores de cada amostra e seus respectivos valores da amostra controle. Onde foi possível verificar a redução do OD no final do experimento em todas as amostras.

**Tabela 01 – Resultados Agitação – Água Deionizada.**

AGITAÇÃO - DEIONIZADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,32	19,4	0	3,2	19,3
10 min	2,21	21,5	10 min	3,03	20,7
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,54	19,7	0	2,54	22,3
10 min	1,42	23,8	10 min	2,56	22,6
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,8	21,9	0	1,76	21,9
10 min	1,72	23,5	10 min	1,77	22,3

Fonte: Autora, 2023.

Da mesma forma, na Tabela 02, é possível verificar os dados da agitação com água tratada de 3 amostras e suas respectivas amostras controle. Também evidenciando a redução do OD em todas as amostras.

**Tabela 02 – Resultados Agitação – Água Tratada.**

AGITAÇÃO - TRATADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,59	23,1	0	2,32	23
10 min	1,32	23,2	10 min	2,32	23,1
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,35	23,1	0	3,49	23,3
10 min	2,15	23,1	10 min	3,39	23,3
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,82	23	0	1,83	23,1
10 min	1,75	23,1	10 min	1,82	23

Fonte: Autora, 2023

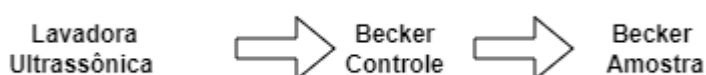
## 4.2 Método por ultrassom

Para este modelo nos primeiros ensaios, utilizou-se uma lavadora ultrassônica da Eco-sonics, cujo o funcionamento é realizado por meio de transdutores ultrassônicos, induzindo a irradiação do som para provocar a cavitação das bolhas

(LGI Scientific, 2023), adicionalmente, foram utilizados dois becker de 600 ml, conforme mostrado na Figura 15.

No contexto dos primeiros testes experimentais, representados na Figura 16, o reservatório da lavadora foi abastecido com água deionizada até atingir o nível mínimo para funcionamento, aproximadamente 1,5 litros. Essa configuração possibilitou realizar a imersão do becker com a amostra deionizada e tratada, os resultados obtidos desses procedimentos constam na Tabela 03 e 04.

**Figura 15 – Diagrama dos Materiais (Lavadora Ultrassônica).**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 16 – Ensaio Ultrassom por Imersão.**



Fonte: Autora, 2023

**Tabela 03 – Resultados Ultrassom por Imersão – Água Deionizada.**

<b>ULTRASSOM - DEIONIZADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	4,38	20,5	<b>0</b>	1,4	20,5
<b>10 min</b>	2,63	23	<b>10 min</b>	1,38	20,8
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	1,83	22,5	<b>0</b>	2,12	22,3
<b>10 min</b>	0,84	24,8	<b>10 min</b>	2,05	22,6
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	1,8	21,9	<b>0</b>	3,32	21,9
<b>10 min</b>	1,13	23,5	<b>10 min</b>	3,32	21,8

Fonte: Autora, 2023

Neste experimento com a utilização do ultrassom e água deionizada nota-se um índice de OD elevado na amostra 01 no início do experimento, entretanto, todas as amostras demonstraram a redução do OD.

**Tabela 04 – Resultados Ultrassom por Imersão – Água Tratada.**

<b>ULTRASSOM - TRATADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	7,1	19,4	<b>0</b>	7,12	19,3
<b>10 min</b>	6,09	21,5	<b>10 min</b>	7,03	20,7
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	5,42	19,7	<b>0</b>	3,45	22,3
<b>10 min</b>	3,63	23,8	<b>10 min</b>	3,4	22,4
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	3,27	21,9	<b>0</b>	3,4	22,3
<b>10 min</b>	2,55	23,5	<b>10 min</b>	3,7	22,4

Fonte: Autora, 2023

Quanto ao experimento subsequente utilizando ultrassom e água tratada, todas as amostras iniciaram com índices elevados e a prática evidencia que a redução de OD se manteve.

Foram realizados testes adicionais utilizando a água diretamente na lavadora ultrassônica. Nesses ensaios, foram empregadas amostras de 1,5 litros e um Becker



de maior capacidade, 2000ml, conforme demonstrado no material ilustrado na Figura 17. Os resultados dessas amostras, tanto da água deionizada quanto da água tratada, estão registrados nas Tabelas 05 e 06.

**Figura 17 – Ensaio Ultrassom 1,5l.**



Fonte: Autora, 2023

**Tabela 05 – Resultados Ultrassom 1,5l – Água Deionizada.**

ULTRASSOM 1,5 l - DEIONIZADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,17	19	0	8,83	19,2
10 min	0,89	22,8	10 min	8,9	19,8
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	3,51	19,6	0	9,02	19,7
10 min	2,03	22,4	10 min	8,97	19,9
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,35	19,5	0	8,5	19,3
10 min	1,05	22,7	10 min	8,7	20,3

Fonte: Autora, 2023

**Tabela 06 – Resultados Ultrassom 1,5l – Água Tratada.**

ULTRASSOM 1,5 l - TRATADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	9,36	19,1	0	7,53	19,3
10 min	8,82	22,6	10 min	7,53	19,1
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	9,51	19,8	0	8,43	19,8
10 min	7,75	22,1	10 min	8,44	19,8
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	7,6	19,3	0	8,24	19,2
10 min	6,83	22,6	10 min	8,26	20

Fonte: Autora, 2023.

Foi possível verificar que em ambos os experimentos com água deionizada e tratada o ultrassom de 1,5l reduziu as quantidades de OD em todas as amostras.

### 4.3 Método vácuo

Nesta opção foi utilizado uma bomba de vácuo no modelo TE-0581 da TECNAL, que tem a finalidade de retirar o oxigênio de um determinado volume. Para realizar este ensaio foi necessário alterar o recipiente da amostra, utilizando um recipiente de vidro com tampa, no qual foi feito um furo para adaptar uma válvula de câmara de bicicleta, que será o ponto de conexão com a bomba de vácuo. E a amostra de controle se manteve num Becker de vidro de 600ml como referenciado nas Figuras 18 e 19.

Neste método será possível verificar a ação do vácuo nas amostras de água deionizada e da CORSAN, os resultados obtidos estão na Tabela 07 e 08.

**Figura 18 – Diagrama dos Materiais (Vácuo).**

Fonte: Autora, 2023.



Figura 19 – Ensaio Vácuo.



Fonte: Autora, 2023.

Tabela 07 – Resultados Vácuo – Água Deionizada.

VÁCUO - DEIONIZADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,13	22,8	0	2,03	22,7
10 min	0,93	22,8	10 min	2,04	22,7
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,54	22,3	0	1,67	22,3
10 min	1,4	22,4	10 min	1,7	22,3
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,8	22,4	0	2,05	22,1
10 min	1,5	22,4	10 min	2,08	22,1

Fonte: Autora, 2023.

Tabela 08 – Resultados Vácuo – Água Tratada.

VÁCUO - TRATADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,19	21,3	0	3,38	22,1
10 min	2,05	21,5	10 min	3,5	22,3
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,03	22,3	0	1,78	22,4
10 min	1,33	22,4	10 min	1,82	22,4
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,78	22,3	0	2,03	22,4
10 min	1,54	22,3	10 min	2,05	22,5

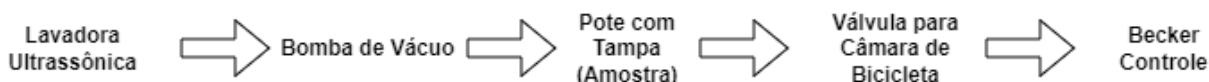
Fonte: Autora, 2023.

Nestes ensaios podemos evidenciar que os índices de OD finais ficaram próximos uns dos outros, tanto para a água deionizada como para a água tratada nos experimentos empregando vácuo.

#### 4.4 Método ultrassom + vácuo

Para realizar a união do método de ultrassom mais o de vácuo foi necessário utilizar o mesmo sistema criado para o vácuo inserindo o recipiente de vidro dentro da banheira de ultrassom. Com o objetivo que o ultrassom realizasse a agitação do oxigênio dissolvido fazendo com que ocorra a cavitação e com o auxílio do vácuo ocorra a retirada do OD do sistema conforme ilustrado nas Figuras 20 e 21.

**Figura 20 – Diagrama dos Materiais (Ensaio Ultrassom + Vácuo).**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 21 – Ensaio Ultrassom + Vácuo.**



Fonte: Autora, 2023.

Os resultados identificados neste sistema foram devidamente registrados nas Tabelas 09 e 10. Nos ensaios conduzidos, observou-se uma diminuição acentuada

tanto nos valores iniciais quanto nos finais do processo, tanto para água deionizada como para a água tratada.

**Tabela 09 – Resultados Ultrassom + Vácuo – Água Deionizada.**

<b>ULTRASSOM + VÁCUO - DEIONIZADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,7	18,4	0	2,89	18
10 min	0,11	21	10 min	3,03	19,3
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	2,67	19,7	0	2,95	19,3
10 min	0,79	22,6	10 min	3,1	19,8
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,39	20,4	0	1,64	19,9
10 min	0,53	23,6	10 min	1,77	20,4

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 10 – Resultados Ultrassom + Vácuo – Água Tratada.**

<b>ULTRASSOM + VÁCUO - TRATADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,93	18,6	0	1,47	18,3
10 min	0,11	21,2	10 min	1,52	18,5
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,56	19,2	0	2,35	18,7
10 min	0,66	22,6	10 min	2,41	19,3
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	2,38	19,1	0	1,87	19
10 min	0,87	22,3	10 min	1,86	19,1

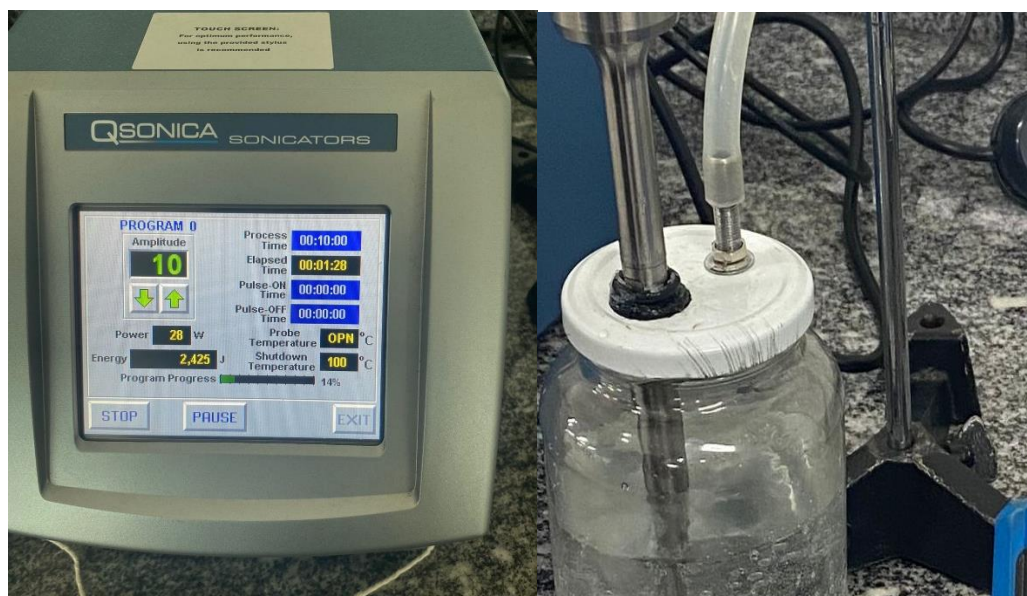
Fonte: Autora, 2023.

Ainda no mesmo método foi realizado ensaios utilizando o equipamento sonicador da QSonica modelo Q700, que é um processador ultrassônico com frequência de 20KHz, e que possui a amplitude (intensidade) controlada por faixa de 1 a 100%.

Para realizar o ensaio, outra tampa foi adaptada para incorporar ao recipiente de vidro e ao sistema já utilizado anteriormente com a válvula, onde foi realizado uma

abertura que seria inserido a microponeta que é um acessório do sonicador, para manter a vedação do sistema, foi utilizado uma gaxeta na qual foi aplicado a graxa de alto vácuo MOLYKOTE, que é utilizada para sistema de vedação a vácuo e pressão para reduzir o desgaste no contato da ponteira com a borracha, tal como evidenciado nas Figuras 22 e 23.

**Figura 22 – Controle de Tela do Sonicador e Tampa Adaptada.**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 23 – Ensaio Sonicador.**



Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 11 – Resultados Sonicador + Vácuo – Água Deionizada.**

SONICADOR + VÁCUO- DEIONIZADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,45	22,2	0	1,23	22,1
10 min	1,02	26	10 min	1,26	22,3
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,25	22,3	0	2,56	22,2
10 min	0,67	26	10 min	2,57	22,5
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,44	22,3	0	2,3	22,1
10 min	0,63	26,2	10 min	2,34	22,1

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 12 – Resultados Sonicador – Água Tratada.**

SONICADOR + VÁCUO - TRATADA					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	3,77	21,7	0	2,67	22,1
10 min	1,54	25,7	10 min	2,7	22,3
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	2,94	22,1	0	3,23	22
10 min	1,43	26	10 min	3,24	22,1
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	3,25	22,2	0	8,5	22,1
10 min	1,14	25,6	10 min	8,7	22,5

Fonte: Autora, 2023

Os resultados registrados referentes à temperatura neste método mostraram um aumento na temperatura da água, proveniente do atrito da ponteira e das informações do fabricante que a ponteira tende a aquecer em pequenos volumes de amostras.

#### 4.5 Método agitador + vácuo

O próximo método de união ocorreu com o mesmo sistema do ensaio 4.3 adicionando-se o agitador magnético, que busca a mesma finalidade de agitação do



OD, de acordo com a representação nas Figuras 24 e 25. As informações provenientes desse sistema estão contidas nas Tabelas 13 e 14.

**Figura 24 – Diagrama dos Materiais (Agitador + Vácuo).**



Fonte: Autora, 2023.

**Figura 25 – Ensaio Agitador + Vácuo.**



Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 13 – Resultados Agitador + Vácuo – Água Deionizada.**

AGITADOR + VÁCUO - DEIONIZADA					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,42	21,6	0	1,49	21,7
10 min	0,7	22,3	10 min	1,52	22
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	0,59	22	0	1,42	22,1
10 min	0,39	22,5	10 min	1,45	22,5
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	0,88	21,7	0	0,76	21,6
10 min	0,74	22	10 min	0,78	21,7

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 14 – Resultados Agitador + Vácuo – Água Tratada.**

AGITADOR + VÁCUO - TRATADA					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,7	18,4	0	2,69	18
10 min	0,98	21	10 min	2,8	19,3
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	2,05	19,7	0	2,95	19,3
10 min	1,64	22,4	10 min	3,12	19,7
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,29	20,6	0	1,64	19,9
10 min	0,82	21,2	10 min	1,77	20,4

Fonte: Autora, 2023.

No experimento utilizando agitação e vácuo com água deionizada, verificaram-se amostras com valores iniciais relativamente baixos, evidenciando a diminuição do OD, embora em níveis consideravelmente baixos.

#### 4.6 Agitador adaptado

Após a análise referente aos testes com o agitador magnético, foi observado que a barra magnética, à medida que a frequência aumentava, contribuía para a formação de um vórtice que é um movimento de rotação intenso presente na Figura 26. Isso poderia contribuir para o aumento do oxigênio dissolvido, uma explicação possível para a pequena discrepância nos níveis de OD registrados durante o experimento.

**Figura 26- Vórtice.**

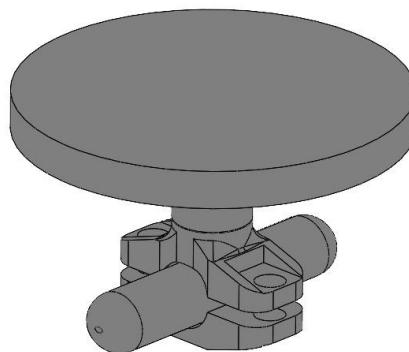
Fonte: Autora, 2023.

Ao analisar o benchmarking realizado, foi viável notar que, para o mesmo procedimento, ocorreu a modificação das aletas de agitação, aumentando a área de contato como na Figura 27. Com base nessa investigação, foi concebido um protótipo, impresso em 3D, que se assemelhasse ao equipamento comercial, para ser adaptado à barra que consta na Figura 28 e a montagem está no Apêndice A.

**Figura 27 – Aletas modelo comercializado.**

Fonte: Disponível em: <https://www.humboldtmg.com/de-airing-water-system-120220v-5060hz.html>. Acesso em 14 de agosto de 2023.



**Figura 28 – Adaptação em 3D.**

Fonte: Autora, 2023.

Para conduzir o ensaio com a adaptação, o sistema foi configurado de acordo com o modelo 4.5, conforme ilustrado na Figura 29. Os resultados decorrentes desse procedimento estão documentados nas Tabelas 15 e 16.

**Figura 29 – Ensaio Agitador Adaptado + Vácuo.**

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 15 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo – Água Deionizada.**

<b>AGITADOR ADAPTADO + VÁCUO- DEIONIZADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	2,21	21,6	0	3,22	21,7
10 min	1,3	21,8	10 min	3,19	21,6
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	3,19	22	0	4,23	22,1
10 min	2,09	22,3	10 min	4,26	22,2
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,68	21,8	0	2,59	21,9
10 min	1,2	22	10 min	2,52	22

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 16 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo – Água Tratada.**

<b>AGITADOR ADAPTADO + VÁCUO- TRATADA</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	1,7	21,7	0	3,42	21,9
10 min	0,97	22,3	10 min	3,37	22
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	2,67	22,1	0	2,57	22,1
10 min	1,8	22,8	10 min	2,62	22,3
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
0	3,29	22	0	2,34	22
10 min	2,62	22,8	10 min	2,36	22

Fonte: Autora, 2023.

Através da implementação da adaptação, foi alcançada a minimização do vórtice, e os resultados finais continuam evidenciando a redução do oxigênio dissolvido nas amostras de água deionizada e tratada.

#### 4.7 Análise OD inicial

Após a comparação dos ensaios, tornou-se evidente que diversas repetições e métodos iniciaram com medidas distintas de OD em mg/l. Com o intuito de investigar as hipóteses de que as mais elevadas poderiam resultar em uma maior perda de

oxigênio dissolvido em comparação com aqueles de valores mais baixos, aproximadamente 10 litros de água tratada foram armazenados em um recipiente por aproximadamente 24 horas para atingir maior estabilidade como na Figura 30.

**Figura 30 – Água Armazenada Galão 10 litros.**



Fonte: Autora, 2023.

Posteriormente, os testes foram reexecutados utilizando essa água em dois métodos para reavaliar os resultados. Os métodos selecionados para esta reprodução foram o agitador adaptado + vácuo, por sua semelhança com os produtos comerciais disponíveis no mercado, e o sonicador + vácuo, que anteriormente apresentou mais resultados, os resultados encontrados estão presentes nas Tabelas 17 e 18.

**Tabela 17 – Resultados Agitador Adaptado + Vácuo – Água Tratada.**

AGITADOR ADAPTADO + VÁCUO - TRATADA - GALÃO					
Amostra 01	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,77	22,3	0	1,24	22,3
10 min	1,15	22,5	10 min	1,24	22,4
Amostra 02	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,51	22,3	0	1,43	22,3
10 min	1,03	23	10 min	1,39	22,6
Amostra 03	OD mg/l	Temperatura	Grupo Controle	OD mg/l	Temperatura
0	1,89	22,1	0	1,35	22,5
10 min	1,14	22,3	10 min	1,37	22,5

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 18 – Resultados Sonicador + Vácuo – Água Tratada.**

<b>SONICADOR + VÁCUO - TRATADA - GALÃO</b>					
<b>Amostra 01</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	1,68	22,1	<b>0</b>	1,72	22,1
<b>10 min</b>	0,56	25	<b>10 min</b>	1,73	22,1
<b>Amostra 02</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	1,71	22,2	<b>0</b>	1,67	22,2
<b>10 min</b>	0,56	24,8	<b>10 min</b>	1,7	22,3
<b>Amostra 03</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Grupo Controle</b>	<b>OD mg/l</b>	<b>Temperatura</b>
<b>0</b>	1,79	22,1	<b>0</b>	1,82	22
<b>10 min</b>	0,41	25,7	<b>10 min</b>	1,81	22,1

Fonte: Autora, 2023.

Nos testes realizados do agitador e do sonicador com o auxílio do vácuo, observou-se que os valores iniciais das três amostras começaram dentro da mesma faixa, também evidenciando a redução do oxigênio dissolvido.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção de resultados e discussões deste estudo oferece uma análise das descobertas adquiridas durante a condução da pesquisa e dos experimentos. Os resultados obtidos atuam como papel fundamental na compreensão do desempenho dos métodos e na sua relação com os objetivos iniciais deste trabalho.

Nesta seção, são apresentados e interpretados os dados coletados, a fim de elucidar as conclusões alcançadas e seus impactos no contexto do desenvolvimento do desaerador para a empresa Owntec.

A compilação da análise dos dados obtidos em todos os ensaios realizados consta na Tabela 19. A métrica designada como “diferença” na tabela representa a redução na quantidade de oxigênio dissolvido no decorrer do processo. Reflete a relação que diminuiu da medida inicial, registrada antes do processo de desaeração, até a leitura final, após a conclusão do procedimento.

Portanto, cada valor apresentado nessa coluna reflete a diminuição do nível de oxigênio dissolvido em relação ao ponto de partida, destacando a eficácia do processo de desaeração em retirar o oxigênio da água durante os ensaios realizados, que estão ordenados de forma decrescente, da maior para a menor perda de oxigênio

A análise com base na diferença percentual permitiu uma avaliação ampla e comparativa da eficácia do processo de desaeração, levando em conta as disparidades nos valores iniciais de cada amostra entre os diferentes modelos. Enquanto a análise em miligramas por litro (mg/l) não proporcionaria uma comparação direta devido às variações absolutas nos valores iniciais.

Dessa forma, a análise em porcentagem destaca de maneira mais impactante as variações proporcionadas pelo processo de desaeração, evidenciando a eficácia relativa entre os diferentes modelos, apesar das diferenças nos valores iniciais de base de cada amostra.

Para contextualizar os resultados e demonstrar a aplicação prática do método, pode-se considerar o seguinte exemplo usando os dados obtidos a partir do processo que empregou ultrassom e vácuo na água deionizada, que revelou a maior redução percentual. Na segunda amostra, em que o valor inicial de oxigênio dissolvido era de 2,67 mg/l e, após submetê-la ao processo por 10 minutos, o valor foi reduzido para 0,79 mg/l. A diferença absoluta entre os valores iniciais e finais é de 1,88 mg/l.

Utilizando a fórmula para calcular o valor percentual, obtemos um resultado de 70,41%, como demonstrado abaixo:

$$\text{Valor Percentual} = \left(1 - \frac{\text{Valor Final}}{\text{Valor Inicial}}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Valor Percentual} = \left(1 - \frac{0,79}{2,67}\right) \times 100$$

$$\text{Valor Percentual} = (1 - 0,2959) \times 100$$

$$\text{Valor Percentual} = 0,7041 \times 100$$

$$\text{Valor Percentual} = 70,41\%$$

Os resultados utilizados correspondem aos valores intermediários de cada método, ou seja, o valor percentual central quando consideramos as três réplicas. A escolha desse valor intermediário visa minimizar possíveis discrepâncias que podem surgir entre múltiplas repetições, optando pelo resultado no meio para reduzir potenciais influências de valores extremos.

Para exemplificar a determinação dos valores intermediários, consideremos os resultados obtidos novamente da aplicação combinada de ultrassom e vácuo. Durante as medições, foram observados valores percentuais da redução de oxigênio dissolvido de 93,52%, 70,41% e 61,87%, considerando três repetições independentes do experimento. Ao analisar esses valores, o valor intermediário foi identificado como 70,41% que está apresentado na Tabela 19 a seguir.

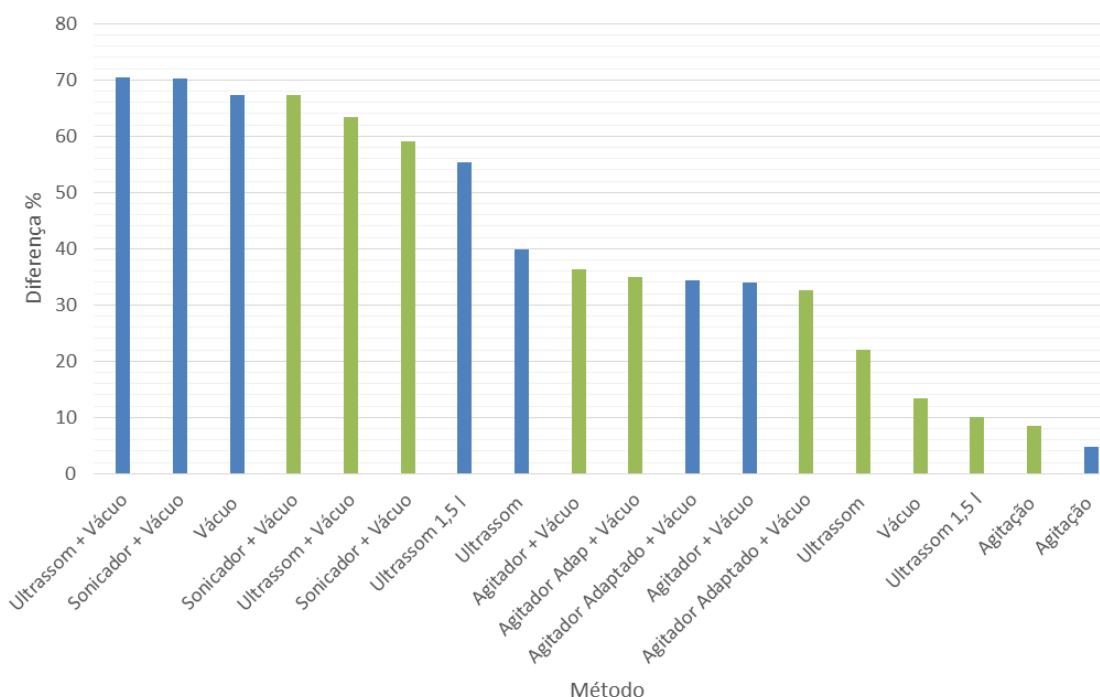
**Tabela 19 – Redução de OD.**

MÉTODO	TIPO	DIFERENÇA (%)
Ultrassom + Vácuo	Deionizada	70,41
Sonicador + Vácuo	Deionizada	70,22
Vácuo	Deionizada	67,25
Sonicador + Vácuo	Tratada – Galão 10L	67,25
Ultrassom + Vácuo	Tratada	63,45
Sonicador + Vácuo	Tratada	59,15
Ultrassom 1,5 l	Deionizada	55,32
Ultrassom	Deionizada	39,95
Agitador + Vácuo	Tratada	36,43
Agitador Adap + Vácuo	Tratada – Galão 10L	35,03
Agitador Adaptado + Vácuo	Deionizada	34,48
Agitador + Vácuo	Deionizada	33,90
Agitador Adaptado + Vácuo	Tratada	32,58
Ultrassom	Tratada	22,02
Vácuo	Tratada	13,48
Ultrassom 1,5 l	Tratada	10,13
Agitação	Tratada	8,51
Agitação	Deionizada	4,74

Fonte: Autora, 2023.

Com o propósito de aprimorar a visualização dos resultados, foram representados no Gráfico 05, no qual as colunas azuis são a água deionizada, enquanto as colunas verdes representam a água tratada.

**Gráfico 05 – Redução de OD.**



Fonte: Autora, 2023.

Com base nas discrepâncias nos valores iniciais das amostras entre os distintos modelos, foram realizados novamente dois métodos com o objetivo de investigar possíveis variações no percentual da diferença, conforme documentado no tópico 4.7. Os cálculos dos percentuais resultantes das réplicas de cada ensaio foram registrados e estão detalhados nas tabelas 20 e 21.

**Tabela 20 – Comparação do Percentual (Agitador Adaptado + Vácuo)**

AGITADOR ADAPTADO + VÁCUO		AGITADOR ADAPTADA + VÁCUO - GALÃO	
1	42,94 %	1	35,03 %
2	32,58 %	2	31,79 %
3	20,36 %	3	39,68 %

Fonte: Autora, 2023.

**Tabela 21 – Comparação do Percentual (Sonicador + Vácuo)**

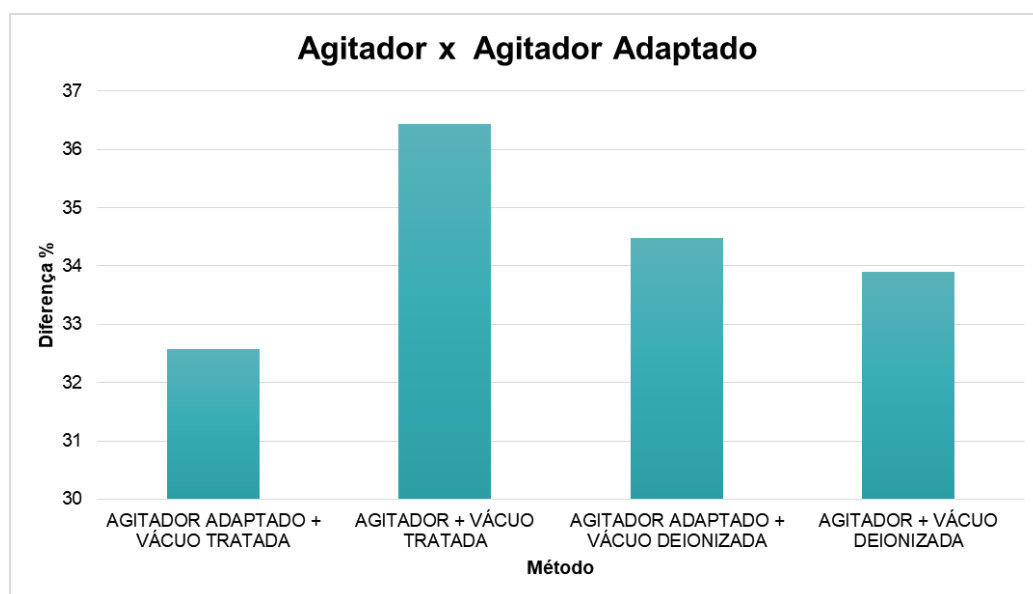
SONICADOR + VÁCUO		SONICADOR + VÁCUO - GALÃO	
1	59,15 %	1	66,67 %
2	51,36 %	2	67,25 %
3	64,92 %	3	77,09 %

Fonte: Autora, 2023.

Os dados apresentados exibem os resultados dos cálculos percentuais provenientes das diferentes réplicas de cada ensaio. Notavelmente, os valores obtidos para o processo de agitador adaptado + vácuo demonstraram uma maior proximidade entre si. Esta consistência nos valores observados corroborou a escolha anterior do valor intermediário de 32,58% que se enquadra nos percentuais obtidos dos ensaios realizados com água tratada armazenada mostrando coerência e confiabilidade na análise dos resultados. Da mesma forma, ao analisar os resultados do processo de sonicador + vácuo, observamos uma coerência similar nos valores obtidos entre suas réplicas.

Outro elemento analisado consistiu na concepção do agitador magnético adaptado, com o intuito de simular um dos modelos mais comumente encontrados no mercado, buscando verificar a viabilidade de reduzir o vórtice por meio de uma maior área de contato, conforme descrito no item 4.6. O percentual foi calculado para comparar a eficiência dentre os testes realizados com os primeiros ensaios do agitador + vácuo e agitador adaptado + vácuo, que encontra-se representado no Gráfico 06.



**Gráfico 06 – Comparação do Percentual.**

Fonte: Autora, 2023.

O método do agitador adaptado demonstrou um percentual de redução de oxigênio dissolvido de 32,58%, enquanto o agitador convencional apresentou um percentual ligeiramente superior, atingindo 36,43%. Nota-se uma diferença modesta de eficiência entre esses métodos.

Além disso, em relação à desaeração da água deionizada, observou-se que o agitador adaptado registrou uma eficácia de 34,48%, enquanto o agitador convencional alcançou 33,9%. Esses resultados indicam uma relativa equivalência na eficiência desses métodos quando aplicados à água deionizada.

Quanto à análise do uso do grupo controle, este foi principalmente empregado durante os ensaios como uma referência visual para identificar o impacto do método em estudo sobre a amostra. Os valores registrados exibiram mínimas variações, com alterações insignificantes nas casas decimais, especialmente quando a temperatura ambiente apresentava ligeiros acréscimos.

Cabe ressaltar que os experimentos foram conduzidos em um laboratório mantido a temperaturas controladas, com o ar condicionado operando constantemente para a manutenção das condições ideais de cultivo de algas. Ademais, a disposição da bancada no laboratório pode ter influenciado a captação do ar em relação à amostra, sendo uma das possíveis causas para tais variações.

Para exemplificar, na tabela 22 é apresentada uma comparação entre os resultados obtidos com o uso do ultrassom + vácuo e os dados do grupo controle.

Nessa análise, foram consideradas as variações em mg/l, representativas da diminuição do oxigênio dissolvido, e em °C, indicativas do aumento de temperatura durante o procedimento.

**Tabela 22 – Comparação do Grupo Controle**

AMOSTRA		GRUPO CONTROLE	
Diferença (mg/l)	Aumento da Temperatura °C	Diferença (mg/l)	Aumento da Temperatura °C
1,59	2,6	0,14	0,5
1,88	2,9	0,15	0,6
0,86	3,2	0,13	0,5

Fonte: Autora, 2023.

## 6. CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo, os ensaios realizados proporcionaram uma análise detalhada do desempenho de diferentes métodos de desaeração em relação à redução do oxigênio dissolvido na água. Os resultados obtidos revelaram variações significativas na eficácia dos métodos testados, evidenciando a capacidade de cada abordagem em retirar o oxigênio da amostra, cumprindo o propósito desta pesquisa.

Os métodos que demonstraram a maior eficácia percentual foram o ultrassom em conjunto com vácuo e o sonicador com vácuo, atingindo aproximadamente 70% de redução, utilizando água deionizada.

Em geral, os métodos que incorporavam o ultrassom para movimentar o oxigênio dissolvido, aliado à contribuição do sistema de vácuo, apresentaram perspectivas promissoras para um potencial investimento futuro, atendendo como requisitos para o desaerador a ser projetado, estes mesmo métodos operando de maneira independente obtiveram resultados positivos.

Em contraste, os métodos que empregavam sistemas de agitação mecânica, como a barra magnética, não alcançaram os mesmos níveis de eficácia atingindo aproximadamente 36%. Considerando que os sistemas disponíveis no mercado atualmente combinam essa agitação mecânica com o vácuo, e levando em conta o objetivo da empresa, conforme mencionado no início desta pesquisa, de se destacar no mercado e inovar nesse âmbito, existem oportunidades e bases para implementar tal inovação, considerando os métodos investigados.

Para utilizar o sistema que obteve os resultados mais expressivos, os requisitos necessários envolveriam o desenvolvimento de um sistema que promova a agitação da água por meio da propagação do som, em conjunto com um sistema de vácuo acoplado. Este seria um caminho promissor para a busca da eficácia desejada e a concretização dos objetivos propostos para a empresa no contexto de inovação no processo de desaeração.

No contexto, considerando a possibilidade de incorporar um sistema de ultrassom em um formato semelhante ao sonicador, é crucial atentar-se aos desafios relacionados ao atrito gerado pela haste. Durante os ensaios realizados, observou-se que o atrito proveniente da ponteira com a gaxeta e as informações fornecidas pelo fabricante, indicaram que pequenos volumes tendem a aquecer rapidamente.

Portanto, ao planejar e implementar um sistema de ultrassom similar, deve ser avaliado se é necessário considerar e mitigar os possíveis impactos do aquecimento gerado por fricção e a vibração constante da ponta no ambiente experimental, visando à preservação da integridade da amostra e à eficácia do método de desaeração.

### **6.1 Estudos futuros**

Para estudos futuros, sugere-se a reavaliação do método de agitação adaptado por meio da criação de um suporte alternativo para a barra, reduzindo a altura da área em contato com o fundo do recipiente. E realizar experimentos com diferentes frequências de ultrassom para analisar a eficiência desse sistema.

Uma abordagem adicional, buscando uma análise mais aprofundada da influência da temperatura nas amostras, especialmente no âmbito da Geotecnia. Este aprofundamento visa a compreensão detalhada do impacto térmico para determinar a margem aceitável do aumento de temperatura na aplicação da água, mantendo níveis desejáveis de oxigênio dissolvido.

Essas iniciativas têm o potencial de aprimorar os métodos de desaeração e promover uma compreensão mais aprofundada acerca das influências das variáveis fundamentais nos processos de desoxigenação da água.

## REFERÊNCIAS

ABDI, Abolfazl *et al.* *Continuously deoxygenation of water in a reactor packed with glucosen oxidase immobilized in MnO<sub>2</sub>/calcium alginate composite.* 2016. Disponível em: <https://www-scopus.ez127.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-84964426997&origin=reflist&sort=plf&src=s&st1=deaerator&nlo=&nlr=&nls=&sid=e5acd964228481ff69985bf07608807b&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2C%22all%22%2Ct&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28deaerator%29+AND+PUBYEAR+%3E+2010+AND+PUBYEAR+%3C+2023>. Acesso em 16 de junho de 2023.

ALBERTIN, Marcos Ronaldo *et al.* *Manual do Benchmarking. Um guia para implementação bem-sucedida.* Editora UFC. Fortaleza. 2015. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/19482/1/2016\\_liv\\_mralbertin.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/19482/1/2016_liv_mralbertin.pdf). Acesso em 01 de junho de 2023.

ALMEIDA, João Vitor dos Santos. *Remoção do oxigênio dissolvido da água de alimentação de uma caldeira de alta pressão em uma indústria de celulose.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/103838>. Acesso em 23 de maio de 2023.

ANTES, Fabiane Goldschimidt. *Desemulsificação de Petróleos Assistira por Ultrassom e Posterior Caracterização das Fases Água e Óleo.* Universidade Federal de Santa Maria (Doutorado). 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4261>. Acesso em 23 de maio de 2023.

CARNEIRO, Brenda Lara Duarte de Souza. *Previsão de Anóxia em reservatórios tropicais semiáridos nos períodos chuvoso e seco.* Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/68120/5/2022\\_dis\\_blscarneiro.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/68120/5/2022_dis_blscarneiro.pdf). Acesso em 10 de abril de 2023.

ELOI, Danilo Manata. *Ensaio Triaxiais com Procedimento Convencionais e Avançados para Avaliação de Estados Críticos em Rejeito de Ferro.* Dissertação (mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/133473/2/459340.pdf>. Acesso em 08 de maio de 2023.

ERT. Sensores de Oxigênio Dissolvidos. 2020. Disponível em: [https://www.ert.pt/wp-content/uploads/2020/06/ert\\_horiba\\_2020.pdf](https://www.ert.pt/wp-content/uploads/2020/06/ert_horiba_2020.pdf). Acesso em 03 de agosto de 2023.

FERRAZ, Camila Jerônimo. *Método para determinação de oxigênio dissolvido em águas utilizando o complexo Mn (III) - EDTA*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2020. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=IOF1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=geotecnia&ots=q98LbsufGm&sig=Kbn8d1ODSQWUOcCYhsOaVqoUfl4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 05 de maio de 2023.

GALLEGO-JUARE, Juan A.; GRAFF, Karl F. *Ultrassom de potência Aplicações do Ultrassom de Alta Intensidade*. Editora Woodhead. 2015. Reino Unido. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9781782420286/power-ultrasonics?via=ihub=>. Acesso em 07 de junho.

GUIMARÃES, Aline Chein; RODRIGUES, Clarissa. *Linguagem Científica e Conceito de Oxigênio Dissolvido no Projeto Água em Foco (Divisão de Ensino de Química da Sociedade Brasileira de Química)*. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/8058/5761>. Acesso em 28 de março de 2023.

HELPER, Inácio; HAAS, Helga; AGNES, Clarice. *Normas para apresentação de trabalhos acadêmicos - Universidade de Santa Cruz do Sul ; 3. ed. - Santa Cruz do Sul : EDUNISC, 2019*. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2509/1/Normas%20para%20apresenta%3%a7%3%a3o%20de%20trabalhos%20acad%3%aamicos%20-%203.ed.pdf>. Acesso em 10 de março de 2023.

HELM, Irja *et al.* *Measurement Uncertainty Estimation in Amperometric Sensors: A Tutorial Review*. (Institute of Chemistry, University of Tartu), 2010. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/10/5/4430>. Acesso em 23 de maio de 2023.

HELM, Irja *et al.* *Um método altamente preciso para determinação de oxigênio dissolvido: gravimétrico método Winkler*. Universidade de Tartu, Instituto de Química, 2012 (Revista de Química Analítica, 741, p. 21-31). Disponível em: [www.elsevier.com/locate/aca](http://www.elsevier.com/locate/aca). Acesso em 03 de maio de 2023.

HELM, Irja *et al.* *Validação comparativa de analisadores amperométricos e ópticos de oxigênio dissolvido: um estudo de caso. Monitoramento e Avaliação ambiental*. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6692-5>. Acesso em 12 de maio de 2023.

JOKAR, Samira *et al.* *Remoção de oxigênio dissolvido de água bruta industrial em um microcanal*. 2021. (Tecnologia Ambiental e Inovação). Disponível em: <https://www-scopus.ez127.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-85107748133&origin=reflist&sort=plf->

f&src=s&st1=deerator&nlo=&nlr=&nls=&sid=e5acd964228481ff69985bf07608807b&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=62&s=TITLE-ABS-KEY%28deerator%29+AND+PUBYEAR+%3e+2010+AND+PUBYEAR+%3c+2023. Acesso em 10 de maio de 2023.

KANG, Mingu et al. *Integrando fabricação e Funções de P&D para melhor qualidade e desempenho no desenvolvimento de produtos. Jornal de Manufatura Technology Management Vol. 33. Edição 1. 2021.* Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/publication/issn/1741-038X>. Acesso em 06 de maio de 2023.

LGI SCIENTIFIC. Manual de Instruções: Tudo sobre Banho de Ultrassom com Aquecimento LGI-LUC-180 LGI-LUC-240 LGI-LUC-600. São Paulo. Disponível em: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/<https://www.laborglas.com.br/doutor/uploads/2/downloads/2018/03/download-manual-de-instrucoes-banho-de-ultrasson-com-aquecimento-f5d2268877.pdf>. Acesso em 14 de setembro de 2023.

MACHADO, Nelson Santos et al. *Gestão da Inovação: o Caso da Celulose Irani (SC). Revista de Administração, Sociedade e Inovação. 2019.* Disponível em:

<https://www.rasi.vr.uff.br/index.php/rasi/article/view/258>. Acesso em 20 de maio de 2023.

MARCELINO, Carla Andréia Alves da Silva. *Metodologia da Pesquisa. 1ª edição. Editora Contentus, 2020.* Disponível em:

<https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/186505>. Acesso em 13 de abril de 2023.

OLIVEIRA, Naysa Crystine Nogueira. Cálculo da composição de porcentagem. Brasil Escola, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/calculo-composicao-porcentagem.htm>. Acesso em 25 de setembro de 2023.

PINTO, Carlos de Souza. *Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.* Disponível em:

[https://www.google.com.br/books/edition/Curso\\_b%C3%A1sico\\_de\\_Mec%C3%A2nica\\_dos\\_Solos/VWULDAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1](https://www.google.com.br/books/edition/Curso_b%C3%A1sico_de_Mec%C3%A2nica_dos_Solos/VWULDAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1). Acesso em 03 de junho de 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2ª edição. Editora Feevale, 2013.*

PIZZOLATO, Morgana et al. A influência do sistema de gestão de laboratórios nos resultados dos ensaios de proficiência da construção civil. 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/gp/a/NwC87Y9sfngNnTSfdHdzGvp/abstract/?lang=pt>. Acesso em 15 de junho de 2023.

QUEIROZ, Rudiney C. *Geologia e Geotecnia Básica para Engenharia Civil*. São Paulo: Blucher, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=IOF1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=geotecnia&ots=q98LbsufGm&sig=Kbn8d1ODSQWUOcCYhsOaVqoUfl4#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 23 de maio de 2023.

RAMOS, Humberto Muniz de Souza. Sistema de Purificação de Água. GEHAKA. Disponível em: [https://www.gehaka.com.br/downloads/sistema\\_purificacao.pdf](https://www.gehaka.com.br/downloads/sistema_purificacao.pdf). Acesso em 03 de outubro de 2023.

RAMIRES, Mirtes Caron Peres. Estudo dos efeitos da presença do nível d'água no comportamento de dois solos lateríticos utilizados em fundações de rodovias no Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28935/000773554.pdf;jsessionid=CA6DB82328E6C0A5A30566FDD6D7B363?sequence=1>. Acesso em 07 de novembro de 2023.

SHARAPOV, V.I.; KAMALOVA, R.I. *Degassing of water with exhaust gases of the boiler*. *Earth and Environmental Science* 288. 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012116/pdf>. Acesso em 20 de maio de 2023.

SOUZA, Adriano Mendonça *et al.* Introdução a projetos de experimentos: caderno didático, 2002. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Livro%20de%20Projetos%20de%20Experimentos.pdf>. Acesso em 23 de setembro de 2023.

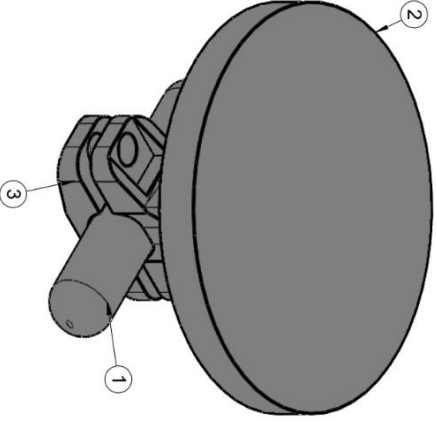
WEI, Yaoguang *et al.* *Review of Dissolved Oxygen Detection Technology: From Laboratory Analysis to Online Intelligent Detection*, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/18/3995>. Acesso em 10 de junho de 2023.

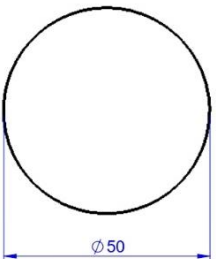
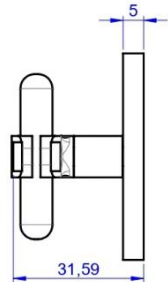
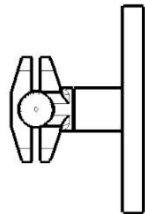
ZECOS, I.; STACK, M.M. *A note on a design protocol for deoxygenation of water*. 2019 (*Comunicações Eletroquímicas*, 103, p. 12-16). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388248119300980#bb0015>. Acesso em 29 de maio de 2023.

ZOGORSKI, John S. *et al.* *Volatile Organic Compounds in the Nation's Ground Water and Drinking-Water Supply Wells*. The Quality of Our Nation's Waters. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2006. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://pubs.usgs.gov/circ/circ1292/pdf/circ1292\\_front.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://pubs.usgs.gov/circ/circ1292/pdf/circ1292_front.pdf). Acesso em 03 de maio de 2023.



## APÊNDICE A – AGITADOR ADAPTADO



Item	Descrição	Código	Código do material	QTD.
1	Peixinho (Barra Magnética)	-/-	-/-	1
2	Mesa	-/-	-/-	1
3	Fixador	-/-	-/-	1
4	Abraçadeira em Nylon 2,5 x 150 mm - Preta	-/-	-/-	2

TOLERÂNCIAS GERAIS		MATERIAL		COD. DO MATERIAL		PROJETISTA		DATA	
Dk 0,5 ± 0,1 mm	± 0,05	DIN 7198 - FVA	-/-	Mesa Estanda	30/10/2023				
Dk 0,6 ± 0,30 mm	± 0,10	DIMENSÕES DO MATERIAL		TRATAMENTO / ACABAMENTO					
Dk 0,8 ± 0,20 mm	± 0,15	DESCRIÇÃO		PROJETO					
Dk 1,0 ± 0,30 mm	± 0,20	ACABAMENTO SUPERFICIAL		Dessearador					
Dk 3,15 ± 1,00 mm	± 0,30	EM RAJADA		CÓDIGO					
		Agitação Adaptada							
		Dessearador							

ESQ/	ESQ/	ESQ/	ESQ/	REVISÃO	PESO	UN.	DESENHO	ESC.	FOHA	TAM.
✓	✓	✓	✓	01	0,01 kg	mm	1:1	1:1	1/2	A3

\\servidor\_csm\lha\Servidor\Projeto\000\_Projeto\Dessearador\Projeto SWP\Formato

