



Sistema automatizado de reuso de água aplicado ao processo de produção de água destilada

Aluno: Luiz Fernando Costa Santos

Orientador: Reginaldo Vagner Ferreira

Coorientador: Walter Alves Durão Junior

Betim

2021

Luiz Fernando Costa Santos

Sistema automatizado de reuso de água aplicado ao processo de produção de água destilada

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Betim para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Betim

2021

REDE DE BIBLIOTECAS

FICHA CATALOGRÁFICA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FICHA CATALOGRÁFICA

S237s Santos, Luiz Fernando Costa.
Sistema automatizado de reuso de água aplicado ao processo de
produção de água destilada. / Luiz Fernando Costa Santos. - 2022.
52p.:il.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Vagner Ferreira.
Orientador: Prof. Dr. Walter Alves Durão Junior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de
Controle e Automação) - Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus*
Betim, 2022.

1. Reuso. 2. Água. 3. Software. 4. Automação. I. Instituto Federal de
Minas Gerais. II. Título.

CDD 670.42755

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Betim
Diretoria de Ensino
Docentes Automação Industrial e Tecnologia da Informação
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG
3135976360 - www.ifmg.edu.br

Ata de Defesa de TCC do estudante Luiz Fernando Costa Santos, realizada em 01 de dezembro de 2021.

No dia 01 de dezembro de 2021, às 19h00 horas, o aluno **Luiz Fernando Costa Santos**, do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFMG – Campus Betim, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado "**Sistema automatizado de reuso de água aplicado ao processo de produção de água destilada**" e foi **aprovado** com a **nota 87**, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC. Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações até o final do semestre letivo corrente e, feitas as correções, tem mais 10 dias corridos para entregar as cópias em meio eletrônico.

O aluno está ciente de que, caso não cumpra os procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, sua nota será considerada zero e a sua defesa de TCC será considerada nula. Também está ciente de que o trabalho de conclusão de seu curso poderá ser divulgado pela Instituição através dos seus meios de comunicação.

Alterações sugeridas pela banca examinadora e outras observações pertinentes à defesa:

- 1) explicar as análises físico-químicas nas seção de metodologia;
- 2) atualizar o modelo 3D ou explicar que não foi usado exatamente como idealizado inicialmente;
- 3) corrigir o cálculo do tempo de retorno do investimento;
- 4) inserir um diagrama P&I do processo e diagrama esquemático;
- 5) adicionar um ou mais gráficos para tornar mais visual as informações das tabelas;
- 6) acrescentar propostas de continuidade baseadas na necessidade de melhoria do sistema;
- 7) melhorar a forma de apresentar o total de litros de água destilada produzidos a partir dos 220 litros iniciais;
- 8) realizar correções textuais conforme sugestões da banca.

Nada mais havendo a tratar a reunião foi encerrada às vinte horas e trinta minutos.

Betim, 01 de dezembro de 2021.

Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo Wagner Ferreira, Professor**, em 02/12/2021, às



09:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Freitas de Abreu, Professor**, em 02/12/2021, às 13:50, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Mota de Oliveira, Professor**, em 02/12/2021, às 15:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1025944** e o código CRC **521392DF**.

23792.001801/2021-51

1025944v1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Volumes dos Reservatórios do Sistema Paraopeba	12
Figura 2 - Método de destilação laboratorial	14
Figura 3 - Destilador de água do tipo Pilsen.....	16
Figura 4 - Placa do microcontrolador ESP-32.	21
Figura 5 - Sensor de temperatura DS18B20	22
Figura 6 - Chave de nível mini boia.....	22
Figura 7 - Bomba D'água DC Submersível.	22
Figura 8 - Destilador Pilsen da Marca Marte Modelo MB 1005.	25
Figura 9 - Modelo 3D das Instalações do Projeto Proposto.	26
Figura 10 - Modelo 3D das Instalações Internas do Projeto Proposto.	27
Figura 11 - Diagrama de Processo e Instrumento (P&I) do sistema de reuso de água	27
Figura 12 - Destilador Instado no Laboratório de Química do IFMG.	28
Figura 13 - Instalação do Disjuntor Individual para o Destilador.	30
Figura 14 - Início da Montagem da Placa Eletrônica.....	31
Figura 15 - Testes Eletrônicos do Circuito.	31
Figura 16 - Dispositivo Eletrônico para Sistema de Reuso de Água.	32
Figura 17 - Amostragem da Água de Reuso.	38
Figura 18 - Amostragem da Água Destilada.....	44
Figura 19 - Recorte da Tabela de Precificação	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Itens necessários para execução do projeto.	18
Tabela 2 - Softwares necessários para execução do projeto.	19
Tabela 3 - Itens laboratoriais necessários para execução de análises.	19
Tabela 4 - Reagentes e soluções químicas para análises químicas.	20
Tabela 5 - Dados Técnicos do Destilador da Marca Marte Modelo MB 1005. .	29
Tabela 6 - Levantamento de Dados do Processo em Teste.	36
Tabela 7 - Análises da Água de Reuso Coletada no Fundo do Reservatório. .	39
Tabela 8 - Análises da Água de Reuso Coletada na Superfície do Reservatório.	39
Tabela 9 - Análises Químicas da Água Destilada.	45
Tabela 10 - Preços dos Materiais do Projeto.....	48

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Dados do Processo em Teste	36
Gráfico 2 - Comparativo Sistema Convencional x Sistema de Reuso.....	37
Gráfico 3 - Parâmetro Dureza Total na Água de Reuso da Superfície do Reservatório	40
Gráfico 4 - Parâmetro Dureza Total na Água de Reuso do Fundo do Reservatório	40
Gráfico 5 - Parâmetro Condutividade Elétrica na Água de Reuso da Superfície do Reservatório	41
Gráfico 6 - Parâmetro Condutividade Elétrica na Água de Reuso do Fundo do Reservatório	41
Gráfico 7 - Parâmetro Alcalinidade Total na Água de Reuso da Superfície do Reservatório	42
Gráfico 8 - Parâmetro Alcalinidade Total na Água de Reuso do Fundo do Reservatório	43
Gráfico 9 - Parâmetro pH na Água de Reuso da Superfície do Reservatório ..	43
Gráfico 10 - Parâmetro pH na Água de Reuso do Fundo do Reservatório	44
Gráfico 11 - Parâmetro de Condutividade Elétrica na Água Destilada Produzida	46

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Corrente Elétrica.	29
Equação 2 - Calculo para Determinação da Dureza Total.	34
Equação 3 - Calculo para Determinação da Alcalinidade Total.....	35
Equação 4 - Cálculo de Volume do Cilindro.....	35

SUMÁRIO

1.	Introdução	11
1.1	Justificativa.....	13
2	Referencial Teórico	14
2.1	Método de destilação	14
2.1.1	Processo de funcionamento do sistema de destilação	15
2.2	Sistemas de reuso de água.....	16
2.3	Sistemas automáticos de reuso de água em destiladores	16
3	Metodologia.....	18
3.1	Materiais.....	18
3.1.1	Hardware	18
3.1.2	Software	19
3.1.3	Equipamentos e vidrarias laboratoriais.....	19
3.1.4	Reagentes e soluções químicas	20
3.2	Métodos	20
3.2.1	Levantamento de informações do processo atual	21
3.2.2	Seleção e especificação da função de elementos do projeto	21
3.2.3	Execução da montagem e programação	23
3.2.4	Comissionamento e testes in loco	23
3.2.5	Qualificação físico-química da água de reuso e da água destilada produzida.....	24
3.2.6	Finalização e entrega do projeto.....	24
4	Sistema de reuso de água para destiladores dos laboratórios de química do IFMG campus Betim.....	24
4.1	Levantamento de informações iniciais	24
4.2	Modelo 3D do projeto proposto	26
4.3	Aquisição de componentes e testes de bancada	27
4.4	Lógica do funcionamento	28
4.5	Protótipo.....	28
4.5.1	Instalações locais do protótipo	28
4.5.2	Montagem do hardware do protótipo.....	30
4.6	Testes de funcionamento e monitoramento da água	32
4.6.1	Teste de realização do processo de reuso	32

4.6.2	Análises físico-químicas realizadas	33
4.7	Dados dos testes de funcionamento do processo.....	35
4.8	Análises físico-químicas da qualidade da água de reuso.....	38
4.9	Análises físico-químicas da qualidade da água destilada	44
4.10	Impactos do projeto.....	46
4.10.1	Impacto ambiental	46
4.11	Payback do projeto.....	47
5	Considerações finais.....	48
5.1	Oportunidade de melhoria do protótipo	49
5.2	Viabilidade do projeto.....	49
5.3	Aprendizados acadêmicos	50
5.4	Ganhos intangíveis.....	50

1. INTRODUÇÃO

No século XX, a população mundial aumentou mais de três vezes, enquanto o consumo de água aumentou em seis vezes devido aos variados tipos de processos que necessitam desse recurso (MIRANDA, 2011). Com o expressivo crescimento do consumo de água potável, surge uma preocupação: a possível escassez da água adequada para uso humano e os devidos processos de produção os quais ela faz parte. Nos anos de 2013 a 2015, quando a população do sudeste do Brasil foi surpreendida por uma crise de abastecimento, devido a importantes déficits de precipitação e a crescente baixa dos níveis dos principais reservatórios de distribuição (COELHO, CARDOSO, & FIRPO, 2016), ficou ainda mais evidenciada a importância da água e quão danosa é a falta dela.

A cada segundo são utilizados, em média, 2 milhões e 83 mil litros de água no Brasil (ou 2.083 metros cúbicos por segundo). Em 1931, eram utilizados apenas 131 mil litros por segundo – 6,3% do uso atual (ASCOM/ANA, 2019) e essa utilização deverá crescer 24% até 2030, superando a marca de 2,5 milhões de litros por segundo.

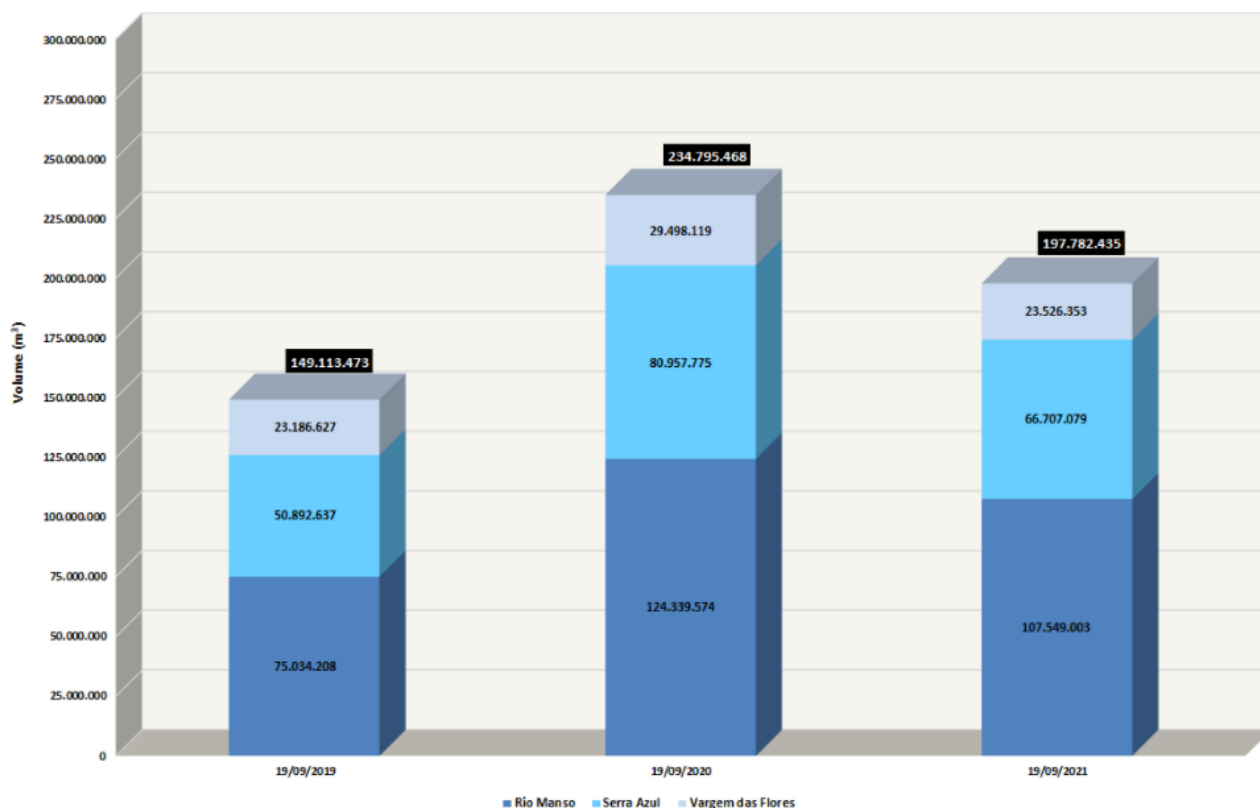
As bacias hidrográficas brasileiras suprem, além do uso doméstico, toda a demanda da agronomia e da indústria, que por sua vez, necessitam de grande quantidade do recurso para exercer suas atividades produtivas utilizando-o para irrigação, insumo da produção, geração de energia elétrica e também como fonte de dissipação de energia térmica (SETTI, LIMA, CHAVES, & PEREIRA, 2001).

Em 2021, a estiagem afetou 145 dos 853 municípios do estado de Minas Gerais que atravessaram estado de emergência sem expectativa de chuvas. Nesse momento em que a chuva se tornou menos frequente os reservatórios que fazem parte do sistema Paraopeba estão sofrendo com a baixa do volume de água.

Os reservatórios Serra Azul, Vargem das Flores e Rio Manso, responsáveis pelo abastecimento de grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, em setembro de 2021 apresentava o volume de 37.013.033 m³ abaixo do registrado no mesmo período do ano de 2020. O sistema Paraopeba, que soma os três espaços, estava com o volume de 197.782.435 de m³ e no

mesmo período de 2020, este volume era de 234.795.468 de m³, conforme Figura 1 (COPASA, 2021).

Figura 1 - Volumes dos Reservatórios do Sistema Paraopeba



Fonte: (COPASA, 2021)

A água é comumente utilizada como agente de transferência de calor em processos produtivos, dentre os quais pode ser citado um método de separação de misturas homogêneas chamado destilação. Esse tipo de separação pode ser observado em indústrias petroquímicas, farmacêuticas, produção de bebidas, e em usos laboratoriais. (BELTRAN, 1996).

Grande parte de processos que utilizam a água como agente de arrefecimento não adaptam seu procedimento visando a redução do impacto ambiental, e dessa maneira a água utilizada é totalmente descartada.

A proposta deste trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Controle e Automação visa a utilização de microcontrolador, sensores e atuadores para automatizar o processo de produção de água destilada e assim evitar o desperdício do recurso hídrico e reduzir sua subutilização.

1.1 Justificativa

Gradativamente cresce a preocupação da população mundial quanto a redução de uso de recursos naturais e a busca progressiva de meio renováveis e sustentáveis (BRITO, SILVA, & PORTO, 2007). Com esse intuito, há uma procura crescente de formas de reutilização da água. Além disso, o desenvolvimento das tecnologias da automação tem dado maior acessibilidade para desenvolvimento de protótipos automatizados para aplicações não industriais, sendo possível realizar o acionamento, monitoramento e controle de processos com baixo investimento.

Visando a reutilização de águas oriundas de processos de produção e aplicação de tecnologias da automação de baixo custo, realizou-se o presente trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Controle e Automação com o objetivo de desenvolver um sistema de reutilização da água dos processos de produção de água destilada, trazendo consigo uma responsabilidade ambiental e a redução dos impactos que se tem ao realizar o descarte direto de uma água residual limpa. Esse projeto proporciona ainda vantagens econômicas, já que ao se realizar o reuso da água fará com que o custo seja minimizado.

Esse reuso poderá ser realizado por meio da realimentação do equipamento com a água que já passou pelo processo, ou destinação da água para outro uso externo. Importante pontuar que a destinação para reuso deve ser feita de acordo com os resultados das avaliações das modificações físicas e químicas que a água poderá sofrer. (RODRIGUES, et al., 2017).

O conjunto dos fatores ambientais, econômicos e tecnológicos descritos acima, mostra o impacto social associado ao sistema automatizado de reuso da água aplicado ao processo de produção de água destilada do laboratório de química do IFMG campus de Betim. Além de ser objeto de estudo multidisciplinar, abrangendo as áreas de química e controle e automação, existentes na instituição de ensino, o protótipo fomentará o desenvolvimento de novas atividades sobre o tema e estimulará o questionamento quanto ao uso consciente dos recursos hídricos aos frequentadores da instituição. Proposta e objetivos do trabalho de pesquisa

Este trabalho de conclusão de curso se propõe a desenvolver um sistema automatizado de reuso da água descartada no processo de resfriamento de

destiladores de água do tipo Pilsen utilizados em laboratórios de química do Instituto Federal de Minas Gerais Campus Betim – IFMG/Betim.

Além desse objetivo geral o trabalho possui alguns objetivos específicos, sendo eles:

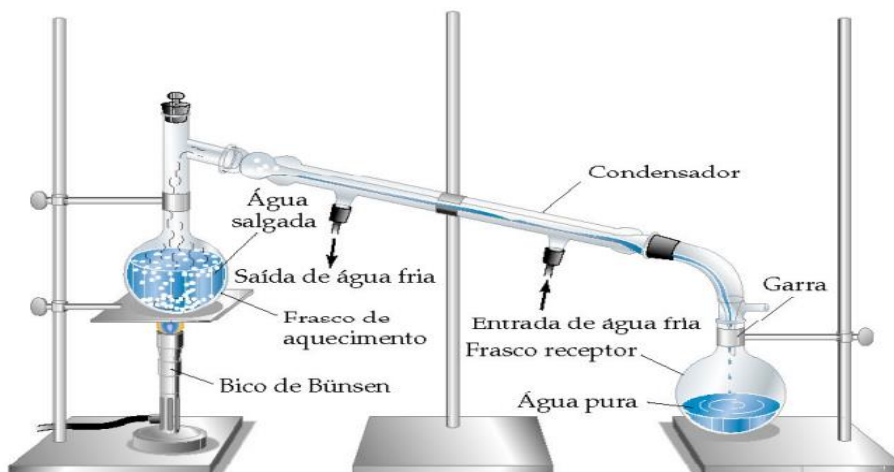
- Mensuração da economia de água antes e após inserir o processo automático de aproveitamento.
- Construção de um protótipo com reservatórios para automatizar o refluxo da água para resfriamento nos processos de destilação.
- Monitoramento da qualidade da água: análise físico-química da água de reuso e da água destilada produzida.
- Estudo de viabilidade da implantação do projeto envolvendo custo de implantação e *payback* do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Método de destilação

A destilação é um método de separação de misturas homogêneas cujo princípio é separar as substâncias de acordo com suas respectivas diferenças de temperatura de ebulição. (WHITE, 2005). É necessário que a mistura esteja na temperatura de ebulição da substância desejada, sendo assim, através da troca de energia, ocorre o processo de condensação o que possibilita a separação da dessa fração da mistura. O método de separação de mistura é comumente dividido em dois tipos: destilação simples e destilação fracionada, possuindo ainda maiores variações dependendo do seu método e aplicação.

Figura 2 - Método de destilação laboratorial



Fonte: (WHITE, 2005).

Para exemplificar, considere-se uma mistura homogênea constituída de substâncias A, B, C, sendo essas caracterizadas pela alta volatilidade, média volatilidade e baixa volatilidade respectivamente. Quando a destilação simples é efetuada, possui-se um produto final do destilado contendo predominantemente a substância A e pouco volume da substância B, e o líquido residual conteria quase toda a substância C e volumes da substância B.

Em contrapartida, quando é realizada a destilação fracionada, tem-se a possibilidade de divisão da substância A, B e C, podendo obter cada uma delas com um grau de pureza maior.

A aplicação desse sistema de separação de mistura é bem ampla, podendo ser utilizada em indústrias farmacêuticas, indústrias de bebidas, refinarias de petróleo e indústrias petroquímicas. Além de indústrias de grande porte, esse processo de separação é frequentemente utilizado em laboratórios de química, tanto para experimentos quanto para purificação de insumo para usos em experimentos.

Uma das grandes preocupações dos profissionais da área da química é a pureza das substâncias manipuladas. Com o objetivo de obter insumos livres de sais e impurezas dissolvidas esses profissionais realizam a purificação da água (MENDES, et al., 2011).

Para essa purificação pode ser utilizado um equipamento chamado destilador do tipo Pilsen. O princípio de funcionamento do equipamento é a destilação simples, tendo-se como objetivo a separação dos sais e impurezas dissolvidas na água oriunda da rede de distribuição, tornando-a mais pura.

2.1.1 Processo de funcionamento do sistema de destilação

Ao se utilizar um destilador Pilsen para produção de água destilada, alimenta-se o equipamento com água potável proveniente da companhia de saneamento. Essa água é inserida no equipamento pela parte inferior e dessa forma enche a caldeira. A partir do momento em que a caldeira encontra-se no nível de trabalho e está em processo de aquecimento, a água que entra posteriormente tem a função de resfriar a coluna onde é realizado o processo de condensação e desce a água destilada, conforme Figura 3

Figura 3 - Destilador de água do tipo Pilsen.



Fonte: (SP Blog Labor, 2017)

Logo, a água de descarte que sai na parte superior do aparelho pode ter concentrações elevadas de sais. Para confirmação dessa informação, deve avaliar as condições da água por meio de análises físico-químicas.

2.2 Sistemas de reuso de água

A reutilização de água se torna mais comum a cada dia e dessa forma pode ser observado o crescimento de trabalhos científicos abordando esse tema. No trabalho desenvolvido por (RAPOPORT, 2004) é abordado por exemplo o reuso da água cinza. São chamadas de águas cinzas as águas residuais das edificações que já foram utilizadas em chuveiros, lavatórios de banheiro, tanques e máquinas de lavar roupa, sendo que essas podem ser utilizadas em atividades onde não é necessária uma água que apresente alto grau de pureza.

Nesse contexto são observados variados tipos de projetos e protótipos mostrando a viabilidade da implantação de sistemas de reuso da água descartada em destiladores (FERMINO, ZAWADZKI, & FLORES, 2015)

2.3 Sistemas automáticos de reuso de água em destiladores

No processo de produção de água destilada para uso laboratorial é utilizada a água como matéria-prima da produção e também como agente de arrefecimento do sistema. Esse procedimento de purificação possui um baixo rendimento, sendo que no processo convencional para produzir 1 litro de água

destilada são gastos em média 21 litros de água potável (RODRIGUES, et al., 2017), que por sua vez é descartado como efluente do processo. Desta maneira, há um grande descarte desse fluido de arrefecimento que poderia ser utilizado para outro fim ou até mesmo retorno para o sistema (MARISCO, FERNANDES, CAVAGNI, FERNANDES, & FERNANDES, 2014).

Ao se avaliar instituições que realizam esse tipo de processo de purificação em larga escala, o descarte de água se torna ainda maior. Como no caso de (PINTO, 2015), que possui 4 destiladores em funcionamento constante. Na pesquisa realizada determinou-se que cada destilador produz 12.000 litros de água destilada por ano e cerca de 95,5% da água que passa pelo circuito é usada para refrigerar o sistema e descartada, aproveitando somente 4,5% como o produto destilado. Desta maneira, com a implementação da estratégia de recuperação da água, quantifica-se mais de 1 milhão de litros de água potável reaproveitados.

Observa-se também, que a busca pela automatização em processos de reuso tem sido tema de diversos trabalhos no meio acadêmico (MELLO, 2019).

Em (MORAIS, 2021), pode ser observado um protótipo que apresenta uma das maneiras de se reutilizar a água oriunda de processos de destilação: em banheiros, lavatórios e demais ambientes que utilizam água para fins higiênicos e irrigação do jardim. No protótipo idealizado para instalação no IFMG - Campus Bambuí, pode ser notada a aplicação de elementos de automação para o funcionamento do processo. Fez-se o uso de uma bomba hidráulica para transporte da água a ser reutilizada e de chaves-boia adaptadas nas caixas d'água para que, na ausência da água de reuso, o abastecimento por meio da rede pública local seja estabelecido.

Há ainda a possibilidade de uso da tecnologia da automação (TA) para otimizar ainda mais esse tipo de sistema. O uso da tecnologia desenvolve um papel importante na execução aprimorada de toda reutilização, respeitando as variáveis que devem ser monitoradas e os acionamentos que devem ser realizados nos momentos corretos, trazendo mais autonomia e dinamismo ao sistema.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para realização da implantação do sistema no local de instalação, tem-se a necessidade da adequação das instalações elétricas e adaptações nas instalações hidráulicas do local.

Na implementação da parte de automação do sistema são indispensáveis a utilização de computador e *softwares* necessários para elaboração de códigos para programação do controlador ESP32, desenvolvimento do modelo da planta 3D e especificação de componentes.

3.1.1 Hardware

Com a etapa de seleção e especificação de componentes realizada, listou-se os itens para aquisição.

Na Tabela 1 estão descritos os itens necessário para execução do projeto.

Tabela 1 - Itens necessários para execução do projeto.

Item	Descrição
1	Bomba d'agua DC submersível 12V 15W 600 L/h 5 metros
2	Cabo jumper
3	Caixa d'água de polietileno 500L
4	Conexão 90° soldável
5	Destilador do Tipo Pilsen
6	Fonte de alimentação 12V
7	Mangueira plástica Irrigação 1/2" Preta
8	Microcontrolador ESP32
9	Módulo Conversor stepdown MT3608 (LM2596)
10	Módulo relé (4 canais)
11	Placa Eletrônica Perfurada
12	Protoboard 400 pontos
13	Sensor de nível tipo boia
14	Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água
15	Sensor ultrassônico HC-SR04
16	Tubo de PVC soldável 1/2"
17	Válvula solenoide 12v 1/2"

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.1.2 Software

Para execução do projeto também foi selecionado os *softwares* para programação, simulação, elaboração de desenhos 3D e diagramas. Esses itens devem ser compatíveis com os *hardwares* especificados.

Na Tabela 2 estão descritos os *softwares* selecionados para execução do projeto.

Tabela 2 - Softwares necessários para execução do projeto.

Item	Descrição
1	Arduíno IDE
2	AUTODESK – Tinkercad
3	Proteus 8 <i>Professional</i>
4	Lucidchart

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O item 1 da Tabela 2 foi o programa utilizando para elaboração da programação em linguagem C e implementação no ESP 32. O item 2 possibilitou a visualização em 3D da proposta de instalação do sistema de reuso de água. O terceiro item auxiliou-se nas simulações e esquemas de ligações dos componentes eletrônicos. No quarto item da tabela, o Lucidchart, uma ferramenta online que foi utilizada para criação de fluxogramas e diagramas.

3.1.3 Equipamentos e vidrarias laboratoriais

Para etapas posteriores foram selecionados os itens laboratoriais para realizar a qualificação físico-química da água de reuso e da água destilada produzida.

Na Tabela 3 estão descritos os itens selecionados para execução das análises das amostras de água coletadas.

Tabela 3 - Itens laboratoriais necessários para execução de análises.

Item	Descrição
1	Balança Semi-analitica
2	Balão Volumétrico 50 mL, 250 mL e 500 mL
3	Bastão de Vidro
4	Béquer 50 mL e 250 mL
5	Bureta 25 mL
6	Condutivímetro
7	Frascos de Polietileno

8	Geladeira
9	pHmetro
10	Pipetas Volumétricas e Graduadas
11	Pisseta de Água Destilada
12	Proveta 100 mL e 250 mL
13	Suporte Universal
14	Termômetro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.1.4 Reagentes e soluções químicas

Para qualificação físico-química da água de reuso e da água destilada produzida, além dos equipamentos e vidrarias para uso laboratorial, foi realizada a seleção das soluções e reagentes necessários para realização das análises.

Na Tabela 4 estão descritos os reagentes e soluções para execução das análises das amostras de água coletadas.

Tabela 4 - Reagentes e soluções químicas para análises químicas.

Item	Descrição
1	Solução de EDTA 0,01mol/L
2	Solução de Carbonato de Cálcio (CaCO ₃) 0,01 mol/L
3	Indicador de Negro de Eriocromo T
4	Tampão de hidróxido de amônio/cloreto de amônio pH 10
5	Solução de Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) 0,02 mol/L
6	Solução Padrão Condutividade 164 µs/cm
7	Solução Padrão pH 4
8	Solução Padrão pH 7

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.2 Métodos

O desenvolvimento do protótipo visa realizar os objetivos previamente definidos utilizando os conhecimentos teóricos e práticos já adquiridos ao longo do curso de Engenharia de Controle e Automação. A metodologia proposta para o desenvolvimento do projeto possui cinco etapas sendo elas: levantamento de informações do processo atual, seleção e especificação da função dos elementos do projeto, execução da montagem e programação do controlador, comissionamento e testes *in loco*, qualificação físico-química da água de reuso e água destilada.

3.2.1 Levantamento de informações do processo atual

Para fins de levantamentos iniciais do processo, foi elaborado um formulário destinado ao técnico em química responsável pelo manuseio do destilador de água do laboratório de química do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Betim. Essa pesquisa inicial teve o foco no processo que é realizado para poder mapear todos os detalhes da execução que irão impactar o desenvolvimento do projeto.

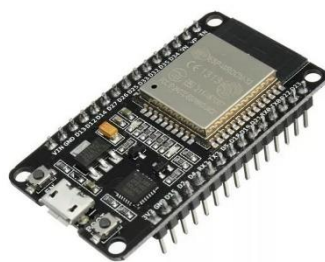
Os dados principais a serem extraídos foram a quantidade de destiladores que são utilizados, qual o volume de água é utilizado para resfriar na produção de um litro de água destilada, qual a frequência de utilização do equipamento e média de volume produzido, além de conhecer as dimensões dos dutos e conexões hidráulicas que alimentam e retiram água do equipamento. Após a conclusão da etapa de levantamento de informações, foi possível estabelecer as especificações do projeto.

3.2.2 Seleção e especificação da função de elementos do projeto

Após o conhecimento do processo realizado para produção da água destilada nos laboratórios de química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim – IFMG/Betim, os materiais para uso foram especificados.

Para fins de automação do sistema, foi utilizado um reservatório, o qual armazena a água que anteriormente era descartada, e para a automação do sistema, utilizou-se o microcontrolador ESP-32, Figura 4, que é responsável pelo controle das variáveis, recebendo sinais de medição dos sensores e enviando comandos para os atuadores.

Figura 4 - Placa do microcontrolador ESP-32.



Fonte: (MORAES, 2017).

Como a temperatura da água recebida nesse reservatório é elevada, a mesma é monitorada em tempo real através de um sensor de temperatura modelo DS18B20, Figura 5, que verifica a aptidão do fluido para o reuso a ser reutilizado.

Figura 5 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: (CONTROL-LAB, 2018).

O nível dessa água também é monitorado, sendo possível verificar se o tanque possui nível mínimo ou máximo para uso, utilizando uma chave de nível mini boia, Figura 6.

Figura 6 - Chave de nível mini boia.



Fonte: (Tecnotronics, 2004-2018)

Após a comprovação da aptidão da água para a reutilização, ela é recalçada, utilizando uma bomba com potência hidráulica suficiente para recalcar a água para o segundo reservatório, Figura 7

Figura 7 - Bomba D'água DC Submersível.



Fonte: (Mercado Livre, 1999-2021)

3.2.3 Execução da montagem e programação

A definição da localização dos instrumentos e do controlador deve ser realizada de modo a evitar que os mesmos não sejam instalados em locais indevidos para seu funcionamento e seguindo as regras de biossegurança já definidas em um laboratório de análises químicas. A localização do reservatório para represar a água deve ser definida de modo que o fluido tenha pressão suficiente para ser transportado, além disso não atrapalhar a locomoção de pessoas no local. As adaptações hidráulicas devem seguir o padrão estabelecido pela construção do prédio, seguindo as dimensões propostas pelo projeto.

Para a etapa de automação do sistema foi utilizada a linguagem C para realizar a programação da leitura dos sensores e suas devidas calibrações. Ao executar essa programação, as regras para funcionamento do sistema devem ser respeitadas, as quais necessitam ser testadas separadamente e em conjunto para garantir que não haja interferências entre as lógicas implementadas.

3.2.4 Comissionamento e testes *in loco*

Com o intuito de assegurar o correto funcionamento do sistema de reuso, o comportamento do sistema mediante a perturbações necessita ser avaliado, tais como a falta de água para arrefecimento no tanque principal, a inaptidão da água para reuso devido a sua temperatura elevada, a ausência de água para reutilização, o baixo e o alto nível de água de reuso no reservatório.

Além do teste da parte lógica é importante a verificação das conexões hidráulicas, todos os circuitos eletrônicos e ligações elétricas para garantir o

fornecimento de tensão, corrente e a entrega adequada de potência de cada instrumento, visando garantir o seu melhor rendimento.

3.2.5 *Qualificação físico-química da água de reuso e da água destilada produzida*

Para definição do reuso da água do processo e controle de qualidade da água destilada produzida é necessário que sejam feitas análises físico-químicas dos dois tipos de amostras. Dessa maneira é mais fácil avaliar se a água que está sendo reutilizada sofre modificações em suas características durante os ciclos de produção e se essa possível modificação está impactando a água destilada produzida.

Para avaliação da água de reuso serão realizadas as análises de dureza, pH, condutividade e Alcalinidade. Já para água destilada produzida serão realizadas as análises de pH, temperatura, condutividade.

3.2.6 *Finalização e entrega do projeto*

Posteriormente aos testes e confirmação do funcionamento do sistema, será feito a finalização da parte de desenvolvimento do projeto.

A finalização das instalações definitivas no local e entrega para o departamento de química do IFMG Campus Betim acontecerá na parte 2 desse projeto de pesquisa.

Importante ressaltar que para o correto funcionamento do sistema as pessoas responsáveis pelo seu manuseio devem ser instruídas e o monitoramento da qualidade da água de reuso deve ser realizado. Esse acompanhamento da qualidade da água de reuso deve ser realizado por meio de algumas análises físico-químicas de amostras coletadas no tanque de recolhimento de água de reuso e coletadas no barrilete de armazenamento de água destilada.

4 SISTEMA DE REUSO DE ÁGUA PARA DESTILADORES DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA DO IFMG CAMPUS BETIM

4.1 Levantamento de informações iniciais

Em concordância com a metodologia determinada para execução do projeto, foram mapeadas as seguintes informações do processo de produção de água destilada.

- I. Marca do Destilador: Destilador de água Modelo MB 1005 Marca Marte cor inox serie 302475;
- II. Quantidade de destiladores em uso nos laboratórios de química do IFMG/Betim: um equipamento em uso constante;
- III. De 0 a 5 qual é o índice de satisfação do rendimento do equipamento: resposta obtida igual a 3;
- IV. Qual a frequência de uso do equipamento: a frequência é variável conforme a quantidade de aulas realizadas, mas gira em torno de uma vez por semana;
- V. Quantidade de água produzida por utilização: em média 25 L;
- VI. Dimensão dos dutos de alimentação de água do equipamento: $\frac{1}{2}$ polegada.

Foi informado que o modelo do destilador é MB 1005 Marca Marte cor inox serie 302475, como pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 - Destilador Pilsen da Marca Marte Modelo MB 1005.



Fonte: (Marte Científica, 2021)

O equipamento é utilizado pelo menos uma vez por semana e em cada utilização são produzidos em média 25 L de água destilada. De acordo com a especificação do modelo de destilador utilizado, para cada litro de água destilada produzida se descarta 50 L de água, sendo assim por meio de afirmações

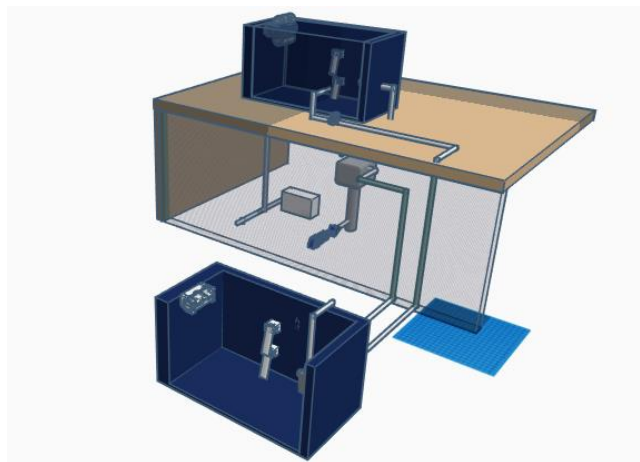
teóricas, a realização do projeto proposto possibilitará o reuso de 5000 L de água por mês.

4.2 Modelo 3D do projeto proposto

Com o desenvolver do projeto e com as informações já adquiridas através de conversa com os responsáveis pelo departamento de química do IFGM/Betim, foi desenvolvida uma planta 3D e o diagrama de processo e instrumentos (P&I) para possibilitar uma pré-visualização das instalações propostas, como pode ser vista em visão panorâmica na Figura 9.

Na figura abaixo pode ser visto dois reservatório sendo um superior e outro inferior. No reservatório inferior (Reservatório A) será realizado o recebimento da água para realização do reuso. Essa água sofrerá o processo de resfriamento de forma natural com o objetivo de reutiliza-la no processo de produção de água destilada. No momento em que a água estiver apta para o reuso a mesma será recalçada para o reservatório superior (Reservatório B) que tem o objeto de armazenar água apropriada para o reuso no processo.

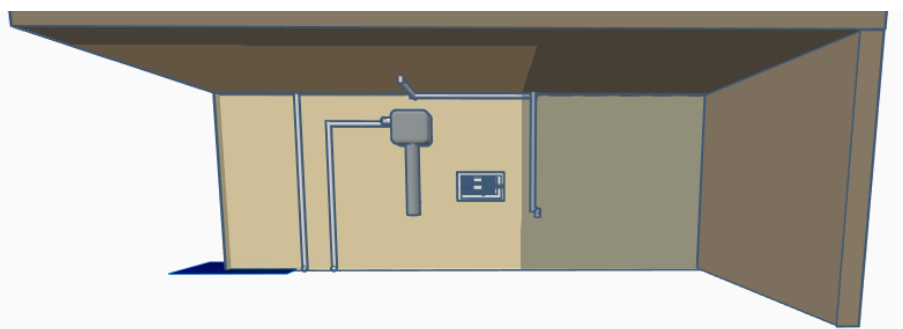
Figura 9 - Modelo 3D das Instalações do Projeto Proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nesse mesmo modelo 3D também podem ser vistas as localizações dos instrumentos, dos circuitos eletrônicos e microcontrolador, como pode ser observado na Figura 10.

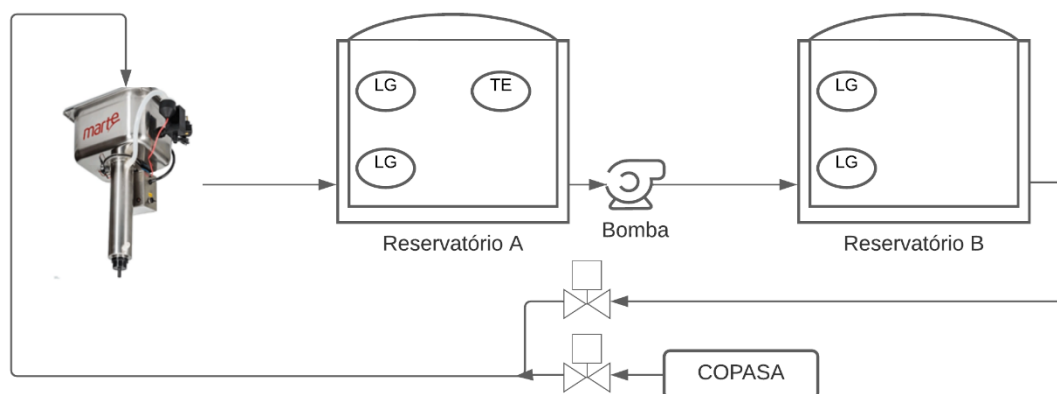
Figura 10 - Modelo 3D das Instalações Internas do Projeto Proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para melhor identificação do fluxo de processos do sistema de reuso de água também pode ser analisado o diagrama apresentado na Figura 11

Figura 11 - Diagrama de Processo e Instrumento (P&I) do sistema de reuso de água



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

4.3 Aquisição de componentes e testes de bancada

Na primeira etapa de aquisições foi realizada a compra dos componentes eletrônicos essenciais para início do projeto. Em laboratório foram realizados testes de bancada para verificação do perfeito funcionamento dos módulos de relés, da bomba de sucção, do acionamento e sinal emitido pelos sensores tipo boia e do sinal emitido pelo sensor de temperatura DS18B20. Após a confirmação de funcionamento dos componentes, iniciou-se a implementação da lógica de programação.

Na segunda etapa de aquisições, foi realizada a compra dos componentes hidráulicos para instalação e testes *in loco* do protótipo. Como esse tipo de material não precisa ser submetido a testes de funcionamento, os mesmos foram

adquiridos durante o processo de desenvolvimento da lógica de funcionamento do sistema.

4.4 Lógica do funcionamento

Utilizando os materiais anteriormente especificados foi realizada a implementação da lógica de funcionamento do processo de reutilização.

O reservatório A recebe a água que anteriormente seria descartada. Nesse reservatório foram colocados dois sensores tipo boia para sinalização do nível baixo de água e para a sinalização do nível alto, além disso, nesse mesmo reservatório é realizado o monitoramento da temperatura da água que é recebido do sistema de destilação.

O microcontrolador faz a leitura da temperatura e do nível no reservatório A. Caso o nível seja maior do que o nível máximo especificado e a temperatura esteja dentro da faixa de trabalho determinada experimentalmente, bombeia-se a água do reservatório A para o reservatório B. Com isso, a água no reservatório B já estará em condições de uso, e portanto, quando atinge nível mínimo especificado, interrompe-se o fornecimento de água da COPASA para o destilador e utiliza-se a água armazenada no reservatório B. O reservatório A foi instalado abaixo do nível do destilador, dessa forma, o escoamento da água pode ser realizado apenas pela ação da gravidade. Além disso, foi levado em consideração que a válvula presente necessita de uma pressão mínima para permitir a passagem de água com uma vazão satisfatória.

4.5 Protótipo

4.5.1 Instalações locais do protótipo

Partindo da ideia principal exposta no modelo 3D do sistema a ser implantado, iniciaram-se as montagens. Entretanto o modelo apresentado na Figura 9 e Figura 10 não foi montado de forma fidedigna. Alguns componentes e localizações foram alterados para possibilitar a realização dos testes sem a instalação definitiva de todos os itens do protótipo nos locais especificados.

Primeiramente, determinou-se o local de instalação do destilador do tipo Pilsen. Optou-se por um local onde facilitasse a rotina no laboratório e também seja possível a alocação de um barrilete abaixo do equipamento para colher a água destilada produzida, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Destilador Instalado no Laboratório de Química do IFMG.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Consultando as especificações técnicas do equipamento, Tabela 5, foi possível especificar a tensão e corrente necessárias para o seu funcionamento.

Tabela 5 - Dados Técnicos do Destilador da Marca Marte Modelo MB 1005.

Dados Técnicos	
Tensão	220 V
Vazão do Destilado	5 L/h
Vazão do Descarte	50 por litro de destilado
Potência Consumida	3500 W
Dimensões Externas (CxLxA)	265x325x800 mm
Peso	4 Kg

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Dimensionou-se a ligação elétrica para o equipamento, conforme a (ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005). Para tal dimensionamento, determinou-se a corrente necessária para o funcionamento aplicando a Equação 1:

Equação 1 - Corrente Elétrica.

$$i = \frac{P}{v}$$

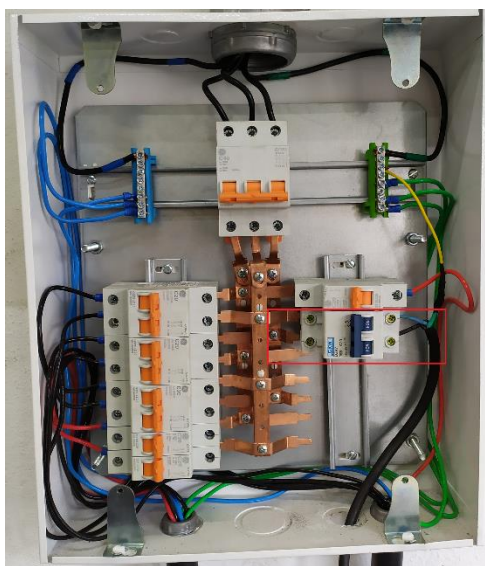
Conforme dados da Tabela 5, calculou-se a corrente necessária:

$$i = \frac{3500}{220}$$

$$i = 15,9 A$$

Como se trata de uma demanda de corrente acima de 10 A para um circuito predial, optou-se por realizar a ligação diretamente na caixa de distribuição e instalar um disjuntor individual para tal fim, como pode ser visto na Figura 13. Após os cálculos para realização da adequação da instalação elétrica foi selecionado o disjuntor selecionado de 20 A. Esse dispositivo de segurança possui o valor comercial mais próximo do valor de corrente calculado e dessa maneira o valor nominal do dispositivo não fica muito aproximado à demanda do equipamento, obedecendo as margens de segurança da norma de instalações elétricas prediais.

Figura 13 - Instalação do Disjuntor Individual para o Destilador.

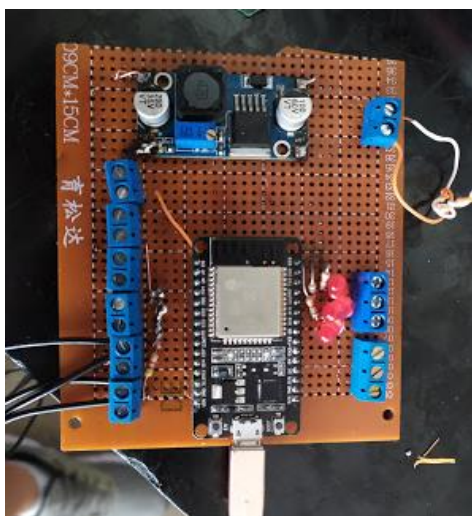


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.5.2 Montagem do hardware do protótipo

A montagem do sistema de reuso de água tem como objetivo o baixo custo e maiores benefícios da aplicação. Visando esse objetivo, a montagem do *hardware* para a automação do sistema de reuso de água utilizou uma placa eletrônica perfurada para soldagem da parte eletrônica do projeto, conforme Figura 14.

Figura 14 - Início da Montagem da Placa Eletrônica.



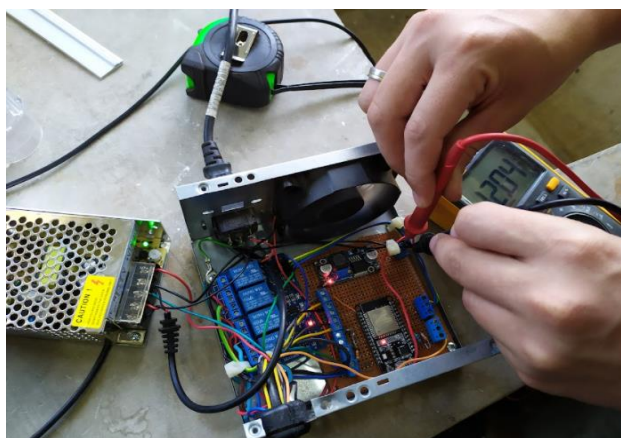
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para o funcionamento do circuito eletrônico, precisa-se das tensões de 12 V e de 5 V. Portanto, utilizou-se uma fonte para o fornecimento da tensão maior e para o ajuste da mais baixa utilizou-se um módulo conversor *stepdown* MT3608. Os módulos relés também foram soldados à placa para realização do acionamento da bomba e das válvulas solenoides.

Todo o circuito foi acomodado em um chassi de fonte de um computador *desktop*, e nesse foi mantido o *cooler* para resfriamento do circuito e prevenção de superaquecimento.

Após toda a montagem interna do dispositivo, foram realizados os testes de continuidade nos *jumpers* e cabos, também as verificações da tensão de alimentação de cada componente, Figura 15.

Figura 15 - Testes Eletrônicos do Circuito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com a certificação de funcionamento dos acionamentos e corretas alimentações dos componentes, pôde ser realizado o fechamento do chassi e finalização da montagem.

Foram deixados acessíveis os cabos para acionamento da bomba e válvulas, além da comunicação dos sensores com o ESP 32. Para fim de configuração e programação do microcontrolador, deixou-se acessível a entrada micro USB do mesmo, facilitando qualquer modificação no código fonte.

Na Figura 16, pode ser visto como ficou o dispositivo finalizado e apto para testes de funcionamento.

Figura 16 - Dispositivo Eletrônico para Sistema de Reuso de Água.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

4.6 Testes de funcionamento e monitoramento da água

Com a implementação do código, deu-se início aos testes do protótipo e verificação do correto funcionamento da lógica do processo de reutilização.

4.6.1 Teste de realização do processo de reuso

Foram realizados 12 ciclos para teste de produção de água destilada e a partir dos testes obter maiores informações de como o processo pode impactar a qualidade da água destilada produzida e também da água de reuso. Foram cronometradas as durações de cada ciclo realizado, os volumes de água utilizadas e produzidos.

4.6.2 Análises físico-químicas realizadas

As análises foram realizadas para monitoramento da existência da mudança físico-química da água. Os métodos analíticos realizados possuem referência e validação dos órgãos competentes.

Nos itens a seguir podem ser verificados os procedimentos analíticos realizados para cada determinação de cada parâmetro físico-químico.

4.6.2.1 Determinação do pH

Para determinação do pH foi realizado o seguinte procedimento:

- Ligou o aparelho e deixou em estabilização durante 20 minutos.
- Lavou o eletrodo com água destilada e enxugou com papel filtro, ou papel higiênico.
- Ajustou o equipamento para realização da calibração utilizando os padrões de pH 7 e pH 4.
- Lavou novamente o eletrodo com água destilada e enxugou com papel.
- Levou cada uma das amostras ao aparelho, sempre lavando o eletrodo com água destilada e enxugando-o com papel absorvente, após a medida de pH de cada amostra.

NOTA: Juntamente da análise pH e realizou-se a análise de temperatura.

4.6.2.2 Determinação da condutividade

Para determinação da condutividade elétrica foi realizado o seguinte procedimento:

- Ligou o aparelho e deixa-lo por 10 minutos para estabilizar.
- Realizou a calibração do aparelho com o padrão de 164 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Após terminar a calibração, introduziu o eletrodo dentro da amostra a ser medida.
- Levou cada uma das amostras ao aparelho, sempre lavando o eletrodo com água destilada e enxugando-o com papel absorvente, após a medida

4.6.2.3 Determinação de dureza total

Para determinação da dureza total foi realizado o seguinte procedimento:

- Pipetou 25 mL da amostra para um erlenmeyer de 250mL.

- Adicionou 2 mL da solução condicionante para cálcio e magnésio e misturou.
- Adicionou 4 gotas do indicador Negro de Eriocromo T e titulou imediatamente com solução de EDTA 0,01 M padronizada, até a mudança da cor rosa-vinho para azul nítido.
- Anotou o volume gasto na titulação.
- Aplicou a Equação 2 para determinação da concentração da dureza total.

Equação 2 - Calculo para Determinação da Dureza Total.

$$Dureza\ Total\ (mg\ CaCO_3/L) = \frac{V.M.fc.100000}{A}$$

V – Volume da titulação

M – Molaridade da solução de EDTA

fc – Fator de correção da solução de EDTA

A – Alíquota da amostra

NOTA: A análise foi realizada em duplicata para garantia do resultado.

4.6.2.4 Determinação de alcalinidade total

Para determinação da alcalinidade total foi realizado o seguinte procedimento:

- Pipetou 25 mL da amostra para um erlenmeyer de 250mL.
- Lavou o eletrodo do pHmetro com água destilada e secou com papel absorvente.
- Introduziu o eletrodo do pHmetro na amostra.
- Mediu o pH da amostra, se o pH for superior a 8,3, titula-se a amostra com solução de ácido sulfúrico até o pH 8,3.
- Anotou o volume gasto.
- Continuou a titulação até pH final de 4,5.
- Anotou o volume gasto.
- Retirou o eletrodo da amostra analisada, lavou com bastante água destilada, secou com papel absorvente e colocou no recipiente que contém a solução de KCl.

- Aplicou a Equação 3 para determinação da concentração da alcalinidade total.

Equação 3 - Calculo para Determinação da Alcalinidade Total.

$$Dureza\ Total\ (mg\ CaCO_3/L) = \frac{V.M.fc.100000}{A}$$

V – Volume da titulação

M – Molaridade da solução de H₂SO₄

fc – Fator de correção da solução de H₂SO₄

A – Alíquota da amostra

NOTA: A análise foi realizada em duplicata para garantia do resultado.

4.7 Dados dos testes de funcionamento do processo

Para os testes de funcionamento e eficiência do sistema foram realizados 12 ciclos de produção de água. O volume inicial utilizado de água foi estimado em 220 L por meio da equação abaixo, embora a caixa d'água não seja exatamente cilíndrica.

Equação 4 - Cálculo de Volume do Cilindro.

$$V = \pi . r^2 . h$$

Na tabela abaixo pode ser vista a duração de cada ciclo de teste, a temperatura da água em cada um deles, além do volume aproximado de água utilizada no processo e volume de água destilada produzida.

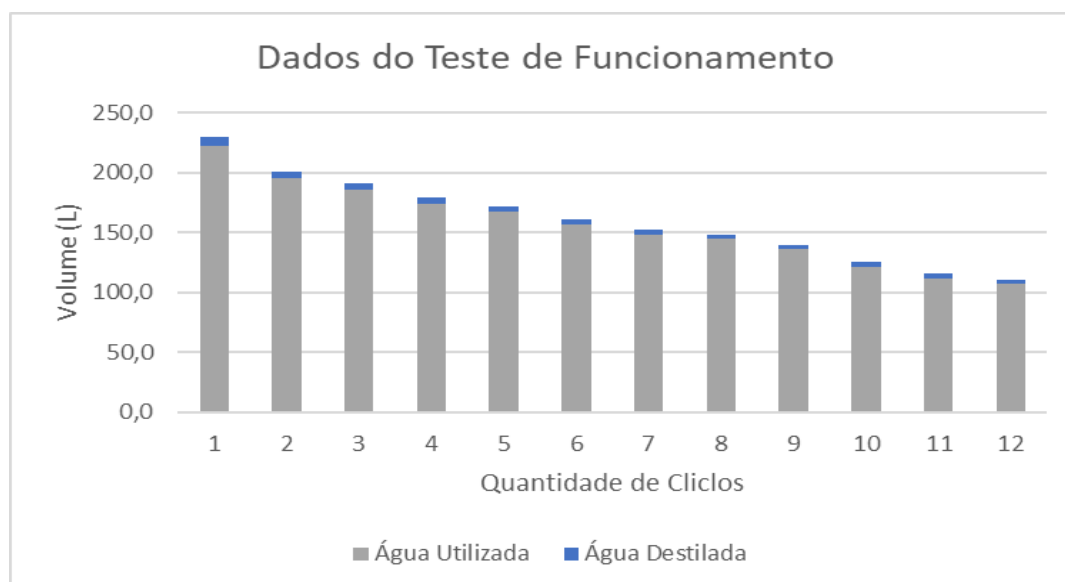
Tabela 6 - Levantamento de Dados do Processo em Teste.

Ciclo	Duração	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Volume de Água potável (L)	Água Destilada produzida (L)
1	01:32:00	26	42	220	7
2	01:20:00	39	50	190	5,75
3	01:20:00	46	55	180	4,9
4	01:19:00	25	40	170	5,75
5	01:21:00	37	48	165	5
6	01:13:00	42	52	155	4,5
7	01:16:00	24	39	150	4,4
8	01:01:00	36	49	145	3,75
9	01:10:00	45	59	135	3
10	00:47:00	25	40	120	3,9
11	00:50:00	37	49	110	3,25
12	00:44:00	41	50	105	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Com o volume inicial 220 L de água e após 12 ciclos de destilação foi possível produzir 53,7 L de água destilada, sendo que a taxa de produção média por ciclo foi de 2,9%, ou seja, 2,9 L de água destilada foi produzida para cada 100 L de água potável utilizada no processo. Os dados podem ser vistos no Gráfico 1, destacando o volume de água utilizada e o volume de água produzida.

Gráfico 1 - Dados do Processo em Teste

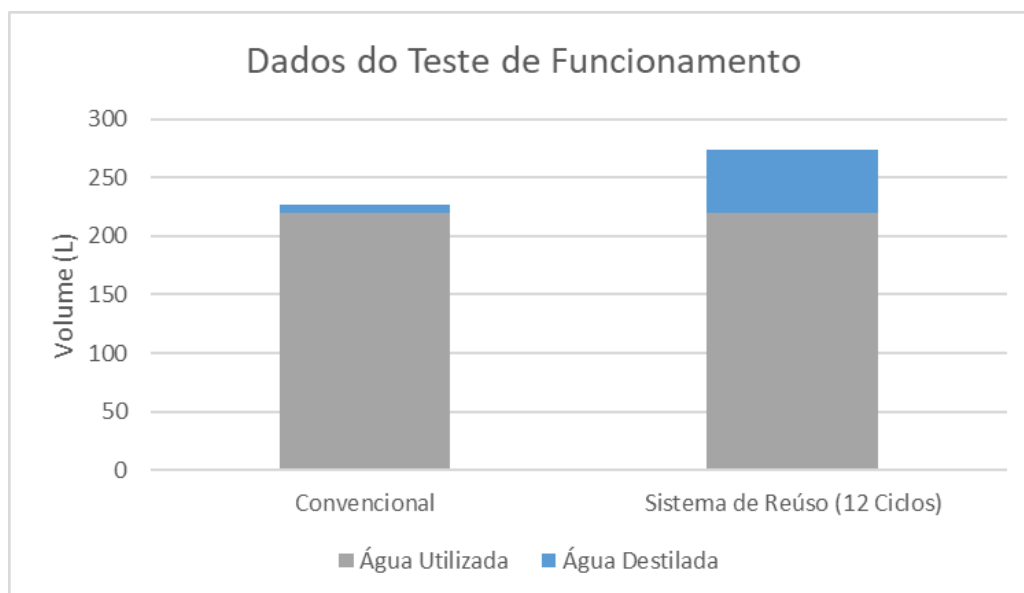


Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Dessa forma, pode ser pontuado que, por ciclo de destilação, o sistema de reuso de água aplicado a produção de água destilada possibilitou a economia

de 97,2% de água potável utilizada, que seria descartada em um sistema convencional, totalizando em aproximadamente 1700 L no decorrer de 12 ciclos realizados. No Gráfico 2 observa-se a comparação entre o sistema de produção de água destilada convencional e com o sistema de reuso.

Gráfico 2 - Comparativo Sistema Convencional x Sistema de Reuso



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Por meio do teste foi possível notar que a eficiência de produção muda de acordo com dois parâmetros: a quantidade de ciclos e a temperatura de início do ciclo de destilação.

Identificou-se que a cada ciclo que é realizado, a água é submetida a uma troca de calor por condução constante, a qual diminui a diferença de temperatura entre a água que está sofrendo o processo de condensação e a água que está realizando o processo de arrefecimento, desacelerando assim a produção. Nos ciclos que a temperatura inicial da água foi acima de 40° C, houve a redução expressiva da taxa de produção de água destilada, por esse motivo esse foi um *setup* importante para o sistema, onde definiu-se que a água deveria ter a temperatura inferior a 40° C para estar apta ao reuso.

Nessa avaliação notou-se que ao final de 12 ciclos de testes de destilação a eficiência geral do sistema caiu 26%, ou seja, o percentual de água destilada produzida em relação ao volume de água utilizada no processo foi reduzindo gradativamente, sendo que no final dos ciclos foi possível quantificar o total acumulado de 26% de redução no percentual de produção. Essa diminuição da

produção pode ser atribuída também a possíveis mudanças da qualidade da água durante o processo de reuso para destilação.

4.8 Análises físico-químicas da qualidade da água de reuso

Em paralelo com o período de testes de funcionamento da lógica implementada foram realizadas amostragens da água de reuso com o objetivo de caracterizar quimicamente e a detectar as possíveis alterações físico-químicas sofridas durante a operação do sistema.

As amostragens foram realizadas na superfície e no fundo do reservatório, conforme Figura 17. Realizando as amostragens dessa maneira é possível notar se a característica da água muda dependendo da sua localização no reservatório.

Figura 17 - Amostragem da Água de Reuso.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As amostras foram identificadas conforme o ponto de coleta no interior do reservatório. Utilizou-se um prefixo ARF para água do fundo do reservatório e ARS para água da superfície do reservatório acompanhado de um número sequencial que representa o número do ciclo do reuso da água.

A qualificação química da água de reuso foi feita por meio das análises de dureza que refere-se à concentração total de íons Ca e Mg presentes na água, análise de pH, que indica se água possui um caráter mais ácido ou alcalino, análise de alcalinidade, que é a concentração total de íons carbonatos,

bicarbonatos, fosfatos, hidróxidos, silicatos, boratos, entre outros íons dissolvidos e condutividade, que quando elevada indica que a água apresenta íons dissolvidos que possibilita a condução de carga elétrica.

Os resultados analíticos obtidos podem ser verificados nas Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Análises da Água de Reuso Coletada no Fundo do Reservatório.

Identificação	Dureza (mg CaCO₃/L)	pH	Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	Condutividade (µS/cm)
ARF - 1	62,18	7,33	123,01	207,0
ARF - 2	64,53	7,74	115,07	218,0
ARF - 3	62,18	8,45	126,98	221,0
ARF - 4	67,46	7,12	138,88	230,0
ARF - 5	66,28	7,90	123,01	233,0
ARF - 6	68,04	8,19	126,98	241,0
ARF - 7	79,78	7,62	142,85	250,0
ARF - 8	76,03	8,12	119,04	255,0
ARF - 9	79,66	8,41	119,04	259,0
ARF - 10	71,21	8,30	119,04	269,0
ARF - 11	78,45	8,01	130,94	276,0
ARF - 12	74,83	8,04	119,04	281,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Tabela 8 - Análises da Água de Reuso Coletada na Superfície do Reservatório.

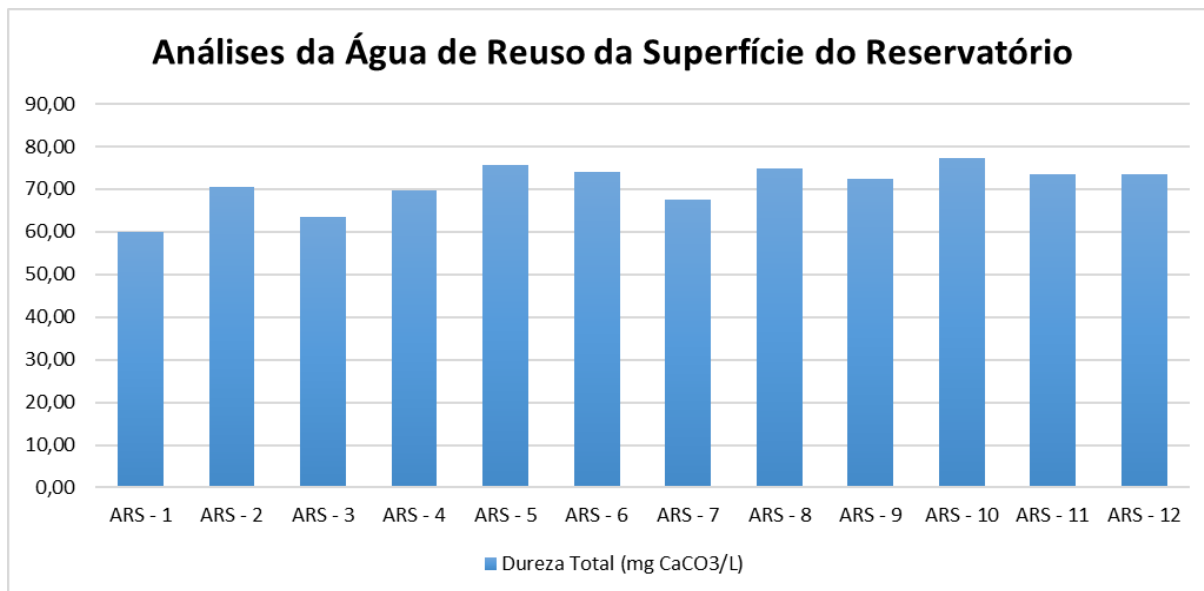
Identificação	Dureza (mg CaCO₃/L)	pH	Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	Condutividade (µS/cm)
ARS - 1	59,83	7,55	130,94	207,0
ARS - 2	70,39	7,94	119,04	216,0
ARS - 3	63,35	8,50	119,04	219,0
ARS - 4	69,80	7,60	123,01	226,0
ARS - 5	75,67	8,03	119,04	235,0
ARS - 6	73,91	8,30	119,04	241,0
ARS - 7	67,59	7,82	142,85	249,0
ARS - 8	74,83	8,19	123,01	255,0
ARS - 9	72,41	8,37	119,04	261,0
ARS - 10	77,24	8,25	130,94	268,0
ARS - 11	73,62	7,92	119,04	276,0
ARS - 12	73,62	7,97	138,88	281,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Por meio das análises realizadas na água de reuso foi possível comprovar que sua reutilização eleva a concentração de íons, podendo ser detectado pela alteração crescente do parâmetro de dureza e condutividade.

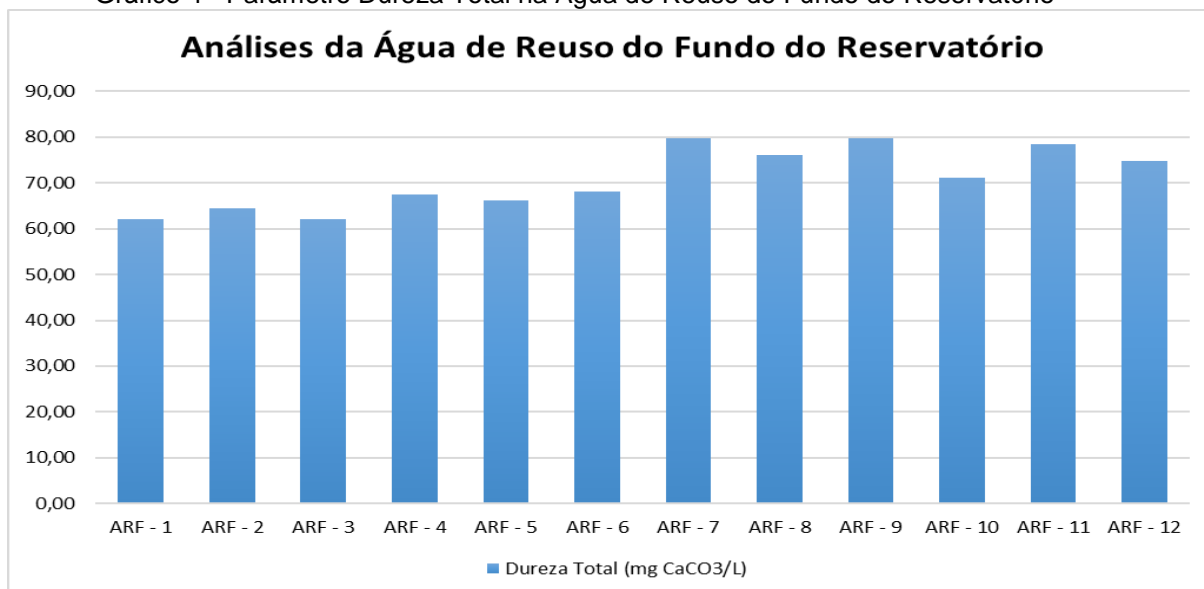
Nos gráficos abaixo pode ser visualizado o comportamento do parâmetro de dureza total da água de reuso da superfície do reservatório e do fundo do reservatório respectivamente.

Gráfico 3 - Parâmetro Dureza Total na Água de Reuso da Superfície do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

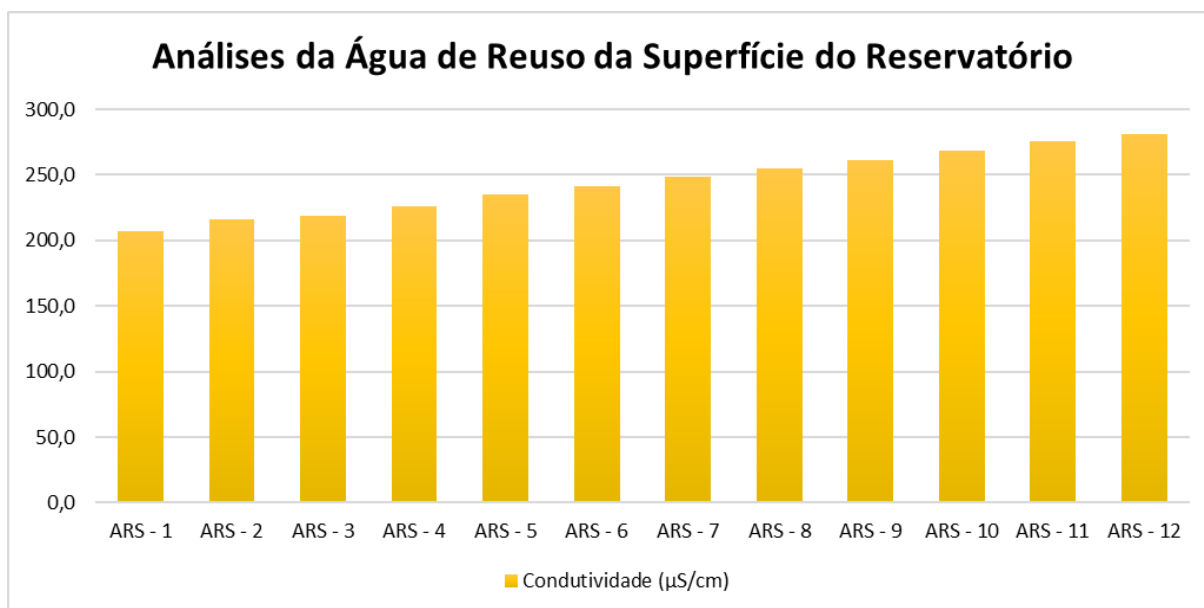
Gráfico 4 - Parâmetro Dureza Total na Água de Reuso do Fundo do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

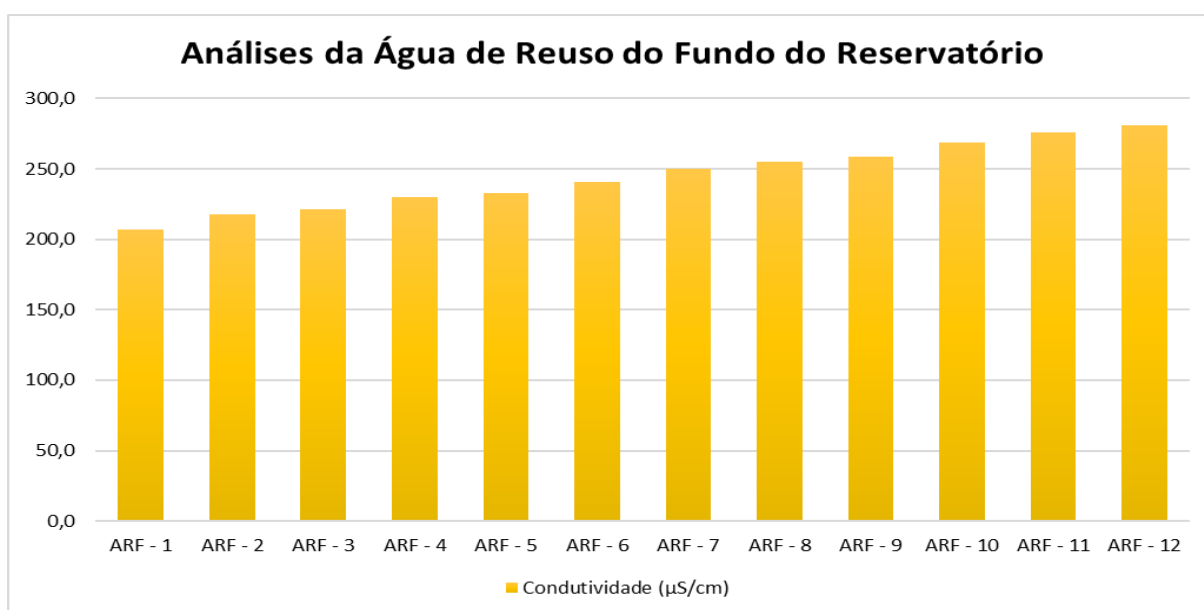
Gráfico 5 e Gráfico 6, pode ser visualizado o comportamento do parâmetro de condutividade elétrica da água de reuso da superfície do reservatório e do fundo do reservatório respectivamente.

Gráfico 5 - Parâmetro Condutividade Elétrica na Água de Reuso da Superfície do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Gráfico 6 - Parâmetro Condutividade Elétrica na Água de Reuso do Fundo do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio (CaCO_3) e pode ser classificada em mole ou branda: < 50 mg/L de CaCO_3 , dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de CaCO_3 , dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de CaCO_3 e muito dura: >300 mg/L de CaCO_3 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, Fundação Nacional de Saúde, 2014). Portanto, após os 12 ciclos de

testes realizados a água de reuso apresentou classificação de uma dureza moderada.

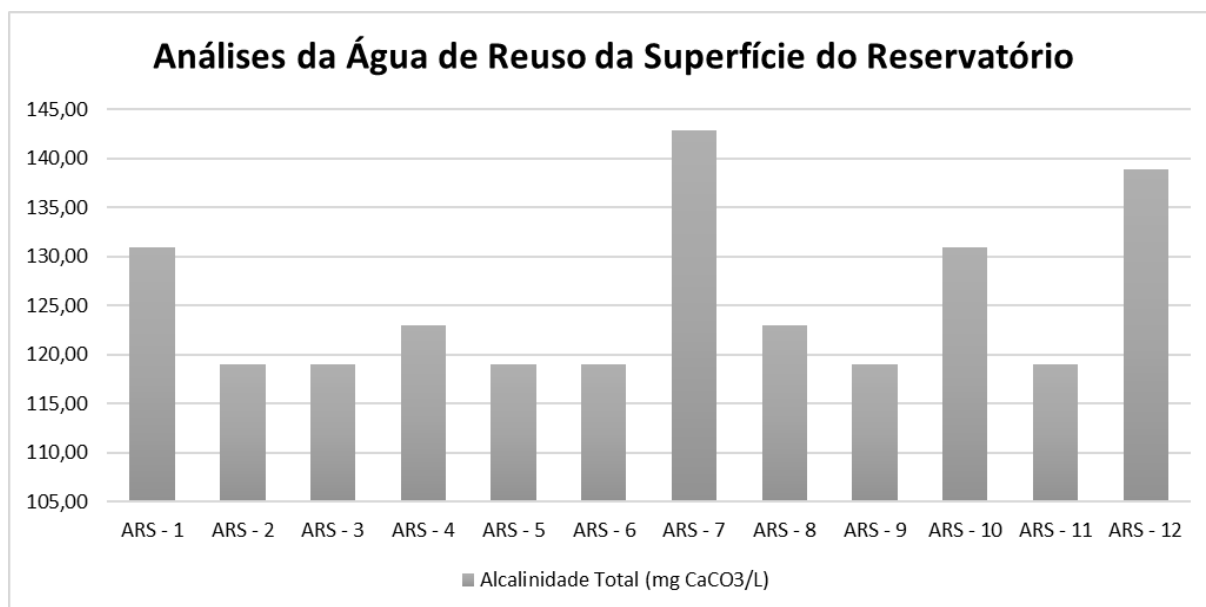
Caso a água de reuso seja classificada como uma água dura, o secundário deve ser estudado, pois a elevação desse parâmetro pode se manifestar de maneira negativa em sua aplicação. A água dura não dissolve bem o sabão ou detergente, tem um sabor desagradável e causa mais facilmente depósitos de calcário nas canalizações, torneiras e equipamentos.

Além de realizar o estudo adequado para a reutilização da água, também deve ser observada a qualidade da água destilada para determinar a periodicidade em que deve ocorrer a destinação da água de reuso para outros fins que não seja a recirculação no fluxo de produção de água destilada.

Para os outros parâmetros analisados, verifica-se que os parâmetros de pH e alcalinidade sofreram variações não lineares durante os ciclos de destilação.

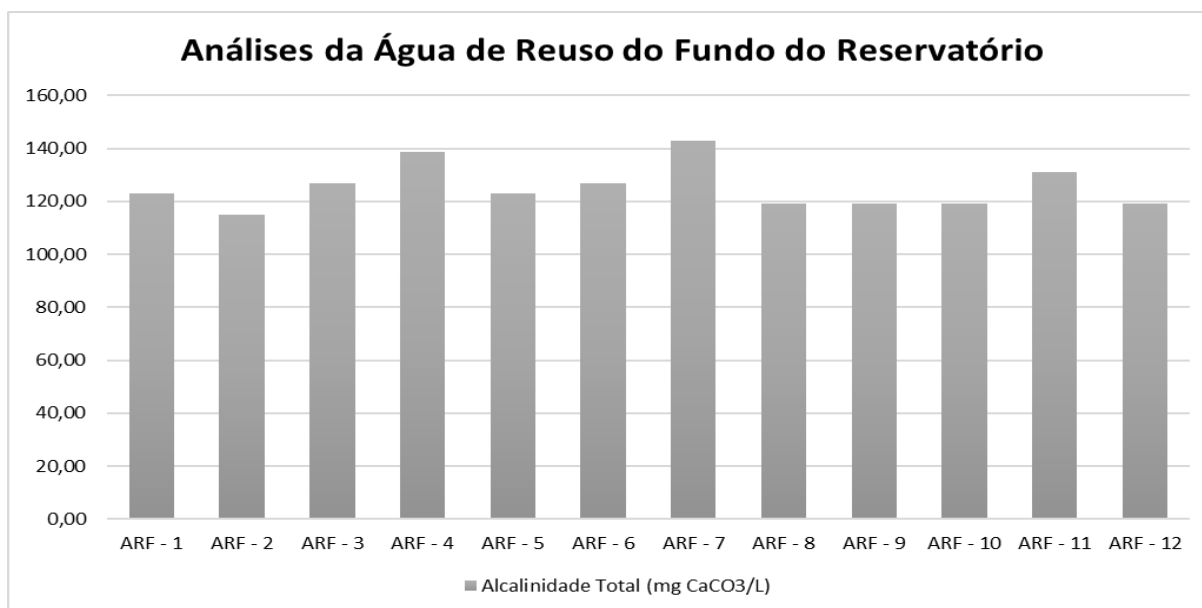
No Gráfico 7 e Gráfico 8, pode ser visualizado o comportamento do parâmetro de alcalinidade total da água de reuso da superfície do reservatório e do fundo do reservatório respectivamente.

Gráfico 7 - Parâmetro Alcalinidade Total na Água de Reuso da Superfície do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

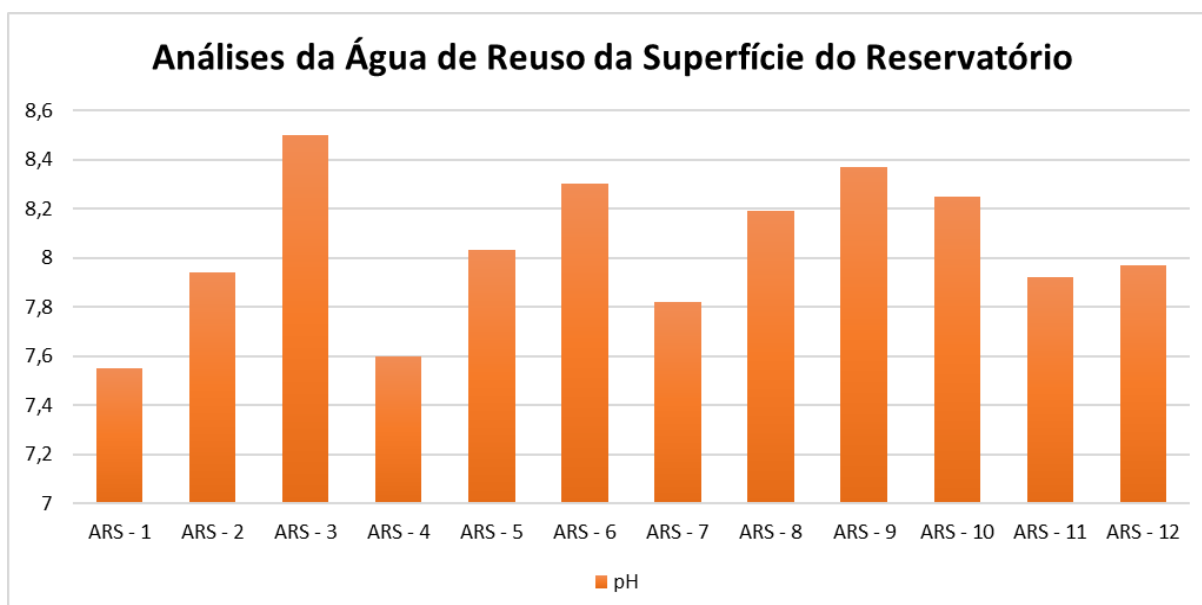
Gráfico 8 - Parâmetro Alcalinidade Total na Água de Reuso do Fundo do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

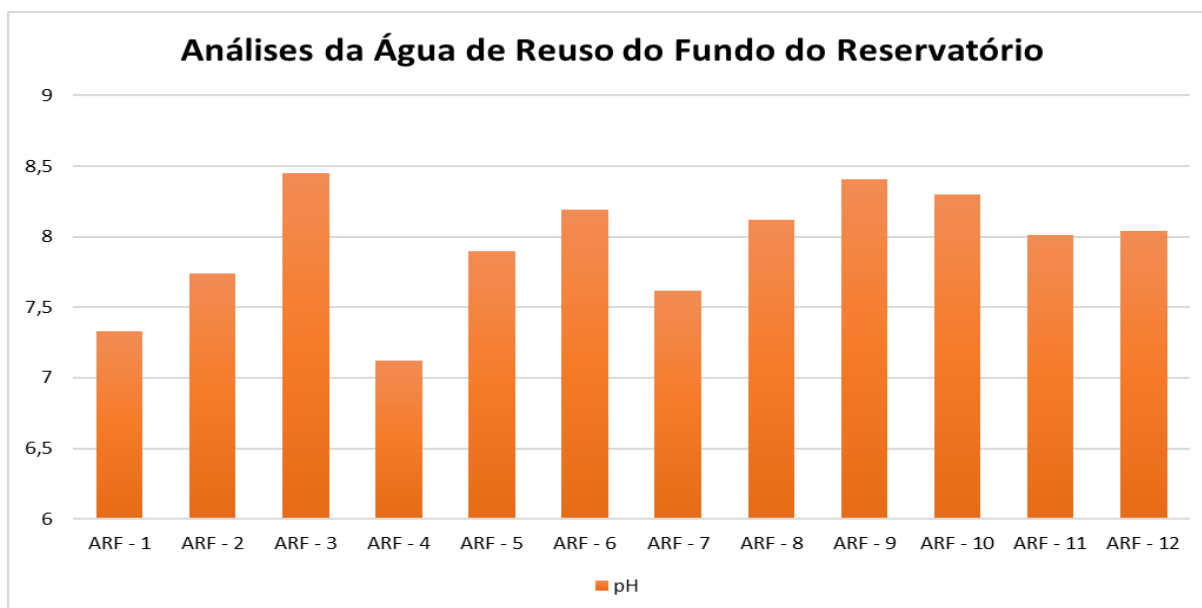
Já no Gráfico 9 e Gráfico 10 pode ser visualizado o comportamento do parâmetro de pH da água de reuso da superfície do reservatório e do fundo do reservatório respectivamente.

Gráfico 9 - Parâmetro pH na Água de Reuso da Superfície do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Gráfico 10 - Parâmetro pH na Água de Reuso do Fundo do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Observou-se que a água se manteve em uma faixa de pH entre 7,12 e 8,50. Dessa maneira constatou-se que a água de reuso tende a ser levemente alcalina mediante as condições que está submetida durante o processo de produção.

4.9 Análises físico-químicas da qualidade da água destilada

Assim como no caso da água de reuso, paralelamente com o período de testes de funcionamento da lógica implementada no sistema, foram realizadas amostragens da água destilada que foi produzida. O objetivo foi detectar alterações físico-químicas que possivelmente poderão ocorrer com o sistema em operação e interferir na qualidade da água produzida.

As amostragens foram realizadas diretamente no barrilete onde se armazena a água para uso no laboratório, de acordo com a Figura 18

Figura 18 - Amostragem da Água Destilada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para identificação utilizou-se um prefixo AD, que indica amostra de água destilada, acompanhado de um número sequencial que representa o número do ciclo do processo de destilação.

A qualificação química da água destilada produzida reuso foi feita por meio das análises de pH, que indica se água possui um caráter mais alcalino ou ácido, e condutividade, que quando elevada indica que a água apresenta íons dissolvidos que possibilita a condução de carga elétrica.

Os resultados analíticos obtidos podem ser verificados na Tabela 9.

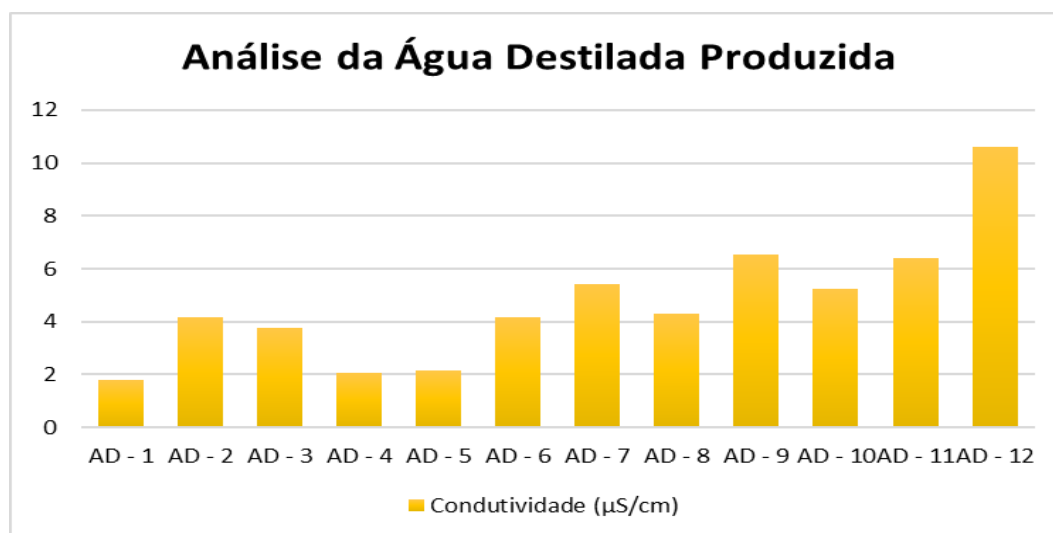
Tabela 9 - Análises Químicas da Água Destilada.

Identificação	pH	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
AD - 1	6,75	1,8	35,6
AD - 2	6,42	4,19	33,0
AD - 3	8,59	3,76	31,0
AD - 4	7,44	2,05	29,0
AD - 5	7,32	2,14	33,7
AD - 6	6,7	4,19	23,3
AD - 7	6,57	5,44	25,4
AD - 8	6,8	4,31	25,1
AD - 9	7,83	6,55	25,4
AD - 10	7,28	5,25	27,6
AD - 11	8,69	6,39	27,8
AD - 12	8,47	10,6	27,9

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Por meio das análises realizadas na água destilada foi identificada uma tendência de crescimento no parâmetro de condutividade (Gráfico 11) e através dessa tendência concluir que a reutilização da água em vários ciclos pode aumentar a quantidade de íons dissolvidos no produto final.

Gráfico 11 - Parâmetro de Condutividade Elétrica na Água Destilada Produzida



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Dessa forma é necessário que seja realizado o acompanhamento da qualidade da água destilada e compara-la com os critérios de uso no laboratório de química do IFMG/Betim e assim classificá-la como própria ou imprópria para o uso no laboratório. O impacto das alterações no parâmetro condutividade deve ser avaliado, levando em consideração os experimentos propostos nas disciplinas ministradas.

4.10 Impactos do projeto

Tendo em vista que os objetivos do projeto é a proteção aos corpos hídricos, diminuição do desperdício e economia em custos operacionais, foi realizado levantamento de dados para avaliar o impacto da implantação do projeto e analisar sua viabilidade.

4.10.1 Impacto ambiental

Tendo em vista os períodos de estiagem que sazonalmente tem acontecido, o hábito de redução do uso de água e a cultura do reuso de águas torna-se mais comum.

O projeto de reuso de água aplicada ao processo de produção da água destilada em laboratórios está totalmente alinhado com esse objetivo, o qual apresenta resultados satisfatórios quanto a redução do uso de água potável.

Considerando o processo atual do laboratório de química do IFMG/Betim em que é produzido 25 L de água destilada por semana, totalizando aproximadamente 100 L de água destilada por mês e tendo como dado experimental que para produção de 2,8 L de água destilada descarta-se em média 97,2 L de água. Conclui-se que a implantação do sistema de reuso de água possibilitaria a reutilização de cerca de 3.571 L de água por mês e aproximadamente 43.000 L de água por ano.

4.10.1.1 Impacto financeiro

Diante do levantamento da quantidade de água reutilizada é possível avaliar o valor economizado ao aplicar o sistema de reuso da água no laboratório de química do IFMG/ Betim.

De acordo com a Resolução ARSAE-MG 154, de 28 de Junho de 2021, publicada pela (ARSAE-MG, 2021), o custo do m³ para órgãos públicos que consomem acima de 200 m³ é R\$13,552. (Figura 19)

Figura 19 - Recorte da Tabela de Precificação

Pública	Fixa	24,24	17,94	R\$/mês
	0 a 5 m ³	3,74	2,77	R\$/m ³
	> 5 a 10 m ³	5,611	4,151	R\$/m ³
	> 10 a 20 m ³	7,546	5,584	R\$/m ³
	> 20 a 40 m ³	9,508	7,036	R\$/m ³
	> 40 a 200 m ³	11,525	8,529	R\$/m ³
	> 200 m ³	13,552	10,029	R\$/m ³

Fonte: (ARSAE-MG, 2021).

Portanto, após a implantação do sistema haverá a economia de R\$580,00 (quinhentos e oitenta reais) por ano, considerando o valor monetário atual. Esse recurso financeiro poupado poderá ser investido em outras áreas da educação e infraestrutura da instituição de ensino.

4.11 Payback do projeto

Outro objetivo da realização do projeto é a apresentação de baixo custo de implantação. Para isso catalogou-se os materiais utilizados na execução e seus devidos preços que podem ser verificados na Tabela 10.

Tabela 10 - Preços dos Materiais do Projeto.

Qde	Unidade de Medida	Descrição	Valor Unitário	Valor Total
1	Unidade	Microcontrolador ESP32	R\$ 50,00	R\$ 50,00
4	Unidade	Sensor de nível tipo boia	R\$ 28,00	R\$ 112,00
1	Unidade	Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água	R\$ 20,90	R\$ 20,90
2	Unidade	Caixa d'água Polietileno 500L Azul Fortlev	R\$ 149,90	R\$ 299,80
1	Unidade	Bomba d'agua DC submersível 12v 15W 600 L/h 5 Metros	R\$ 77,90	R\$ 77,90
30	Metro	Mangueira Plástica Irrigação 1/2" Preta Tubo	R\$ 0,63	R\$ 18,90
1	Unidade	Adesivo plástico cola cano PVC	R\$ 10,90	R\$ 10,90
5	Unidade	Flange e Conexões	R\$ 4,00	R\$ 20,00
1	Unidade	Fonte de alimentação 12V	R\$ 52,99	R\$ 52,99
1	Unidade	Módulo Conversor Stepdown MT3608(Im2596)	R\$ 17,90	R\$ 17,90
2	Unidade	Válvula solenoide 12v 1/2"	R\$ 33,90	R\$ 67,80
1	Unidade	Módulo relé (4 canais)	R\$ 30,00	R\$ 30,00
TOTAL			R\$	779,09

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Como pode ser visto o valor total atribuído à execução do projeto foi de R\$779,09 (setecentos e setenta e nove reais e nove centavos).

Ao realizar uma análise comparativa do custo benefício do desenvolvimento do sistema o mesmo se mostra com um tempo de retorno de investimento em torno de 16 meses. Vale ressaltar que se o uso de água destilada nos laboratórios sofrer um aumento o volume de água reutilizada aumentará proporcionalmente, gerando uma aceleração no tempo de retorno do investimento do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento desse trabalho de conclusão do curso de engenharia de controle e automação, foi colocado a prova todas as hipóteses abordadas na justificativa para execução do projeto de um sistema automatizado de reuso de água aplicada ao processo de produção da água destilada. Dentre

elas avaliou-se os fatores ambientais, econômicos, contribuição acadêmica e social.

Com tudo isso, ao fim do trabalho avaliou-se que os objetivos gerais e específicos definidos foram alcançados. Foi mensurada a quantidade de água utilizada no processo atual e comparou-se com a quantidade de água utilizada no processo com a implantação do sistema de reuso. Além disso foi verificado o comportamento do sistema e a qualidade da água de reuso, o que possibilitou a determinação da temperatura ideal para o uso em um novo ciclo e quais parâmetros físico-químicos são alterados com a aplicação do sistema.

A água destilada produzida utilizando a água reutilizada também foi qualificada, e determinou-se que deve ser feito o controle do parâmetro de condutividade desse produto final.

5.1 Oportunidade de melhoria do protótipo

O trabalho de conclusão de curso aqui apresentado fez parte de um projeto de pesquisa do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Betim. Esse projeto é composto de duas partes, sendo a primeira parte o desenvolvimento do protótipo viável e a segunda parte aplicação de melhorias.

Dessa maneira existem algumas oportunidades de melhorias desse projeto. Por se tratar de um sistema que será manipulado e acompanhado por um operador é de grande importância uma interface gráfica onde seja possível fazer a supervisão dos dados do processo em tempo real. Por meio de um banco de dados também é possível armazenar informações do processo de forma histórica e possibilitando visualização de gráficos em função do tempo.

Outra melhoria que pode ser estudada para implementação é uma medição em linha de parâmetros físico-químicos, como pH e condutividade. Há a possibilidade de realizar essa medição de forma direta ou indireta e dessa maneira auxiliar no controle de qualidade da água de reuso e monitoramento das alterações de suas características.

5.2 Viabilidade do projeto

Além dos objetivos específicos, o sistema de reuso de água teve o objetivo de ser prático e de baixo custo, analisando a Tabela 10, pode ser notado que o item de maior valor foi o reservatório para a água, o que agregou maiores

investimentos ao projeto, mas em contrapartida maiores retornos quanto à implantação, pois dessa forma o sistema possui reservatórios dedicados para esse propósito. Porém mesmo com a compra desse item o projeto fica no custo total de R\$779,09 (setecentos e setenta e nove reais e nove centavos).

Comparando as economias que a implantação do sistema irá proporcionar, o valor do investimento se torna vantajoso sendo comprovado pelo baixo tempo para o retorno do investimento.

5.3 Aprendizados acadêmicos

No desenvolver desse trabalho foram adquiridos variados conhecimentos multidisciplinares. Nesse projeto foi possível abordar metodologias de execução de projetos, onde foi praticado a programação e a realização de etapas, também foi possível agregar conhecimento sobre a área de química e qualidade de águas, além de aprofundar os conhecimentos quanto a programação de microcontroladores e a aplicação de automação de processos envolvendo sensores e atuadores na planta.

Com a execução da metodologia proposta, foi possível avançar nos estudos sobre o tema, onde obteve-se uma boa avaliação dos resultados, mas também foram encontradas algumas limitações. Uma das limitações que mais impactou o trabalho foi a impossibilidade de montagem de um sistema que operasse no laboratório de química do IFMG Campus Betim conforme a necessidade real e demanda de produção, pois devido a suspensão temporária das aulas presenciais no ano de 2020 e 2021 não houve a necessidade de uso do ambiente. Por esse motivo os dados obtidos na etapa de testes do sistema não puderam ser confrontados com dados adquiridos no processo de rotina real do laboratório.

Dessa maneira esse tipo de avaliação bem como a elaboração de uma interface do sistema com o usuário poderá ser implementado na continuação do projeto de pesquisa.

5.4 Ganhos intangíveis

O trabalho de conclusão de curso aqui apresentado fez parte da primeira etapa de um projeto de pesquisa do IFMG Campus Betim, projeto esse que será

dado continuidade e finalização em uma segunda sequência de desenvolvimentos.

É importante ressaltar que além de todos os ganhos acadêmicos quanto ao aprendizado dos alunos participantes e a validação da viabilidade desse projeto, o projeto do sistema automatizado de reuso de água aplicada ao processo de produção da água destilada apresentou alguns ganhos intangíveis.

Por se tratar de um trabalho multidisciplinar houve o envolvimento do departamento de química e de controle e automação, e por meio desse projeto foram trocados conhecimentos sobre as áreas particulares. Além disso, o trabalho despertou na comunidade acadêmica o retorno ao debate do consumo consciente dos recursos hídricos.

Frequentemente o país passa por períodos de pouca precipitação de chuvas e baixa dos níveis de água em reservatórios de abastecimento, e é nesse momento que a população deve estar preparada para utilizar meios alternativos de reuso desse recurso tão precioso.

Sendo assim ao fim dessa etapa de estudos fica o sentimento de gratidão pela participação nesse projeto e contribuição para a discussão do assunto no meio acadêmico.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). Instalações Elétricas de Baixa Tensão. *ABNT NBR 5410*.
- ARSAE-MG. (28 de Junho de 2021). Resolução ARSAE-MG 154, de 06 de Junho de 2021. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- ASCOM/ANA. (01 de 04 de 2019). *Estudo da ANA aponta perspectiva de aumento do uso de água no Brasil até 2030*. Fonte: Agência Nacional de Águas: <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030#:~:text=Webinars-,Estudo%20da%20ANA%20aponta%20perspectiva%20de%20aumento%20do,%C3%A1gua%20no%20Brasil%20at%C3%A9%202030&text=A%20cada%20segundo%>
- BELTRAN, M. (Novembro de 1996). Destilação: a arte de extrair virtudes. *Química nova na escola*, p. 24 -27.
- BRITO, L., SILVA, A., & PORTO, E. (2007). *Diponibilidade de água e a gestão de recursos hídricos*. Brasília - DF.
- COELHO, C., CARDOSO, D., & FIRPO, M. (2016). A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. *Climanálise - Edição especial de 30 anos*, p 55 - 61.
- CONTROL-LAB. (29 de Maio de 2018). *Planta Térmica 2*. Fonte: CONTROL-LABDOCS: <https://bvanelli.github.io/control-lab/planta2/>
- COPASA. (19 de Setembro de 2021). Fonte: Portal Copasa: <https://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/abastecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios>
- FERMINO, D., ZAWADZKI, R., & FLORES, J. (4 a 8 de Outubro de 2015). Avaliação do custo e do tempo de retorno de investimento de um sistema de reuso de água de resfriamento dos condensadores do laboratório físico-químico do SENAI-CIC. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- MARISCO, L., FERNANDES, V., CAVAGNI, M., FERNANDES, L., & FERNANDES, J. (2014). Reúso de efluentes provenientes de aparelhos destiladores. *CIATEC - UPF*, P 37-47.
- Marte Científica. (2021). *Destilador de água pilsen 10 L*. Fonte: Marte Científica: <http://www.marte.com.br/produto/372/destilador-de-gua-pilsen-10l>
- MELLO, V. L. (2019). Automatização como alternativa de melhoria da operacionalização dos sistemas de captação de água de chuva. *30º Congresso ABES*. Belém/PA.
- MENDES, M., FAGUNDES, C., PORTO, C., BENTO, L., COSTA, T., SANTOS, R., & SUMITA, N. (20 de 06 de 2011). A importância da qualidade da água reagente no laboratório clínico. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, pp. 217-223.
- Mercado Livre. (1999-2021). *Mercado Livre - Mini Bomba Água Submersível 12v 600l/h*. Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2064457458-mini-bomba-agua-submersivel-12v-600lh-_JM?matt_tool=16172974&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302217691&matt_ad_group_id=123813159497&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_cre

- MINISTÉRIO DA SAÚDE, Fundação Nacional de Saúde. (2014). *Manual de Controle de Qualidade de Água para Técnicos que Trabalham em ETAS*. Brasília, Brasil: Coordenação de Comunicação Social (Coesc/Gab/Presi/Funasa/MS).
- MIRANDA, A. T. (2011). As relações entre o modelo de desenvolvimento e os impactos sobre o ambiente e a saúde humana: Revisão do cenário atual. *Caderno Saúde Coletiva*, pp. 251-263. Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Coisas-que-Voce-Deve-Saber-sobre-a-Agua-1084.html>
- MORAES, J. (08 de setembro de 2017). *COnchecendo o ESP32*. Fonte: Portal vida de silício: <https://portal.vidadesilicio.com.br/conhecendo-o-esp32/>
- MORAIS, B. O. (2021). Implantação e uso na Educação de um Sistema para Reutilização da Água de Refrigeração de Destilador. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, pp. 142-152.
- PINTO, A. C. (09 a 11 de Dezembro de 2015). *Gestão de Água no Laboratório: Recuperação de Água descartada dos Destiladores*. Aracaju/SE, Brasil.
- RAPOPORT, B. (março de 2004). *Água cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial*. Rio de Janeiro, Brasil.
- RODRIGUES, I., JALES, Z., SOUSA, V., MACEDO, M., VAZ, R., & VIROLI, S. (2017). *Caracterização do condensado descartado em aparelhos de destilação na produção de água destilada*. Tocantins, Brasil: Instituto Federal do Tocantins.
- SETTI, A., LIMA, J., CHAVES, A., & PEREIRA, I. (2001). *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos* (2 ed.). Brasília, Brasil.
- SP Blog Labor. (11 de Agosto de 2017). Fonte: <http://www.splabor.com.br/blog/destilador-2/aprendendo-mais-alem-da-diferenca-entre-agua-destilada-e-agua-deionizada-como-funciona-um-destilador-de-agua-tipo-pilsen/>
- Tecnotronics. (2004-2018). *Sensor Nível de Água Lateral Magnético Bóia Aquário 10W para Arduino*. Fonte: Tecnotronics: <https://www.mekanus.com.br/sensores/sensor-nivel-horizontal-agua-interruptor-boia-arduino-zpc4>
- WHITE, D. (2005). *Química - Ciência Central - 9ª Ed. Capítulo 1 - Introdução: Matéria & Medida*.