



# ESTUDO DE RECUPERAÇÃO DA ÁGUA DOS LABORATÓRIOS PARA O REABASTECIMENTO DA EQ/UFRJ

Carolina Cinelli Bezerra de Menezes

Rogério do Bonfim Souza Carneiro Filho

## Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Prof. Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Março de 2022

# **ESTUDO DE RECUPERAÇÃO DA ÁGUA DOS LABORATÓRIOS PARA O REABASTECIMENTO DA EQ/UFRJ**

*Carolina Cinelli Bezerra de Menezes*  
*Rogério do Bonfim Souza Carneiro Filho*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Andréa Medeiros Salgado, D.Sc.

---

Andrea Valdman, D.Sc.

---

Fabiana Valéria da Fonseca, D.Sc.

Orientado por:

---

Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

---

Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Março de 2022

De Menezes, Carolina Cinelli Bezerra.

Carneiro Filho, Rogerio do Bonfim Souza.

Estudo de recuperação da água dos laboratórios para o reabastecimento da EQ/UFRJ/Carolina Cinelli Bezerra de Menezes e Rogerio do Bonfim Souza Carneiro Filho – Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022.

ix, 62 p.: il.

(Projeto de Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022.

Orientadores: Bettina Susanne Hoffmann e Fábio de Almeida Oroski

1. Reuso de água de destiladores. 2. Plano de Logística Sustentável  
3. Projeto de Final de Curso (Graduação – UFRJ/EQ) 4. Bettina Susanne Hoffmann e Fábio de Almeida Oroski 5. Estudo de Recuperação da Água dos Laboratórios para o Reabastecimento da EQ/UFRJ.

## **Dedicatória**

*Às nossas famílias e amigos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaríamos de agradecer aos nossos professores e orientadores Susanne e Fábio por todo o apoio e incentivo durante a jornada de 1 ano para a elaboração deste trabalho.

Gostaríamos de agradecer também aos nossos familiares e amigos por todo o suporte, não somente durante essa fase final, mas durante toda a nossa graduação.

À Instituição, pelo acesso ao ensino público, gratuito e de qualidade, mesmo frente à tantos desafios para a sua resistência.

Aos professores, técnicos e responsáveis pelos laboratórios da EQ, ao escritório de planejamento do CT e ao Fundo Verde UFRJ pela colaboração e a disponibilidade ao fornecer informações utilizadas para a construção deste trabalho.

Por fim, gostaríamos de agradecer um ao outro, pois nada melhor do que encontrar amigos ao longo do caminho para enfrentar desafios juntos e tornar a jornada mais proveitosa.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

## **ESTUDO DE RECUPERAÇÃO DA ÁGUA DOS LABORATÓRIOS PARA O REABASTECIMENTO DA EQ/UFRJ**

Carolina Cinelli Bezerra de Menezes  
Rogerio do Bonfim Souza Carneiro Filho

Março, 2022

Orientadores: Prof. Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc.

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Universidades são instituições que funcionam como agentes de inovação e precursores de mudanças. Contudo, os primeiros registros no mundo de discussões referentes à sustentabilidade dentro das mesmas são feitos apenas no início da década de 1990. No Brasil, há um crescente movimento referente à elaboração de Planos de Logística Sustentável, ou PLS, que têm como objetivo funcionar como ferramentas para auxiliar no planejamento de ações, metas, prazos de execução e mecanismos de avaliação para estabelecer práticas de sustentabilidade na administração pública. Na UFRJ, uma comissão foi formada em novembro de 2020 para a elaboração do PLS da instituição. O presente trabalho buscou contribuir para a elaboração do plano, focando no uso de água da Escola de Química da UFRJ (EQ). Foram levantados dados de abastecimento e consumo de água no prédio do Centro de Tecnologia, de utilização de água nos laboratórios da EQ e os principais equipamentos responsáveis pelo descarte de água nos mesmos. Foram também estudados diferentes casos nos quais houve a implantação de projetos para o reaproveitamento de água e, baseado em todas as informações levantadas sobre a realidade da EQ, foi definido o melhor modelo de aplicação para a Escola. Baseado nisso, foi feita uma estimativa de investimento e prazo de retorno do mesmo, concluindo que o projeto seria vantajoso para a instituição e viável economicamente, tendo um retorno de investimento em aproximadamente seis anos.

# SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
1. Introdução .....	10
1.1 A questão hídrica no Brasil e o impacto das universidades .....	10
1.2 Objetivos do Trabalho .....	12
1.3 Estrutura do Trabalho .....	13
2. Revisão Bibliográfica e Estudos de Caso .....	15
2.1 Revisão Bibliográfica .....	15
2.2 Estudos de Caso .....	17
2.2.1 Reintegração da água ao sistema de abastecimento central do prédio.....	17
2.2.2 Adaptação do processo de destilação para possibilitar a reutilização da água no próprio destilador.....	22
2.2.3 Armazenamento da água para posterior utilização no próprio laboratório .....	26
2.2.4 Análise comparativa dos casos estudados.....	31
3. Metodologia.....	33
3.1 Levantamento de dados do consumo de água, mapeamento e entrevistas com laboratórios e Estudo de Caso .....	33
3.2 Revisão e definição da solução mais apropriada.....	36
3.3 Estimativa dos custos necessários para o projeto.....	40
3.4 Análise de viabilidade econômica e retorno financeiro .....	43
4. Resultados e Discussão.....	45
4.1 Consumo e desperdício nos laboratórios da EQ.....	45
4.2 Identificação da metodologia para reuso.....	48
4.3 Local da instalação .....	50
4.4 Análise econômica .....	51
5. Conclusão .....	56
6. Referências Bibliográficas.....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de um destilador.....	16
Figura 2: Modelo esquemático do sistema de captação e reaproveitamento de água descartada dos destiladores.....	19
Figura 3: Fluxograma elaborado pela equipe.....	23
Figura 4: Fluxograma final .....	24
Figura 5: Diagrama do sistema .....	25
Figura 6: Esquema do reaproveitamento de água. ....	30
Figura 7: Esquema das etapas realizadas durante o trabalho.....	33
Figura 8: Diagrama de abastecimento hídrico no prédio do Centro de Tecnologia .....	45
Figura 9: Consumo de Água no Centro de Tecnologia em Volume e em Valor .....	46
Figura 10: Número de laboratórios durante cada etapa do levantamento de informações .....	47
Figura 11: Esquema de localização dos laboratórios mapeados e do Diretório Acadêmico da Escola de Química .....	51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado dos Testes de Potabilidade .....	20
Tabela 2: Resultado da análise de pH das águas do processo de destilação.....	28
Tabela 3: Quantidade de água destilada e descartada durante o processo de destilação. ....	28
Tabela 4: Equipamentos e respectivos volumes de água descartada mapeados na Escola de Química.....	47
Tabela 5: Resumo dos custos totais do Projeto CCS com a correção monetária.....	52
Tabela 6: Volumes de água descartada por destiladores nos laboratórios mapeados da Escola de Química .....	53
Tabela 7: Custos de projeto variando conforme a quantidade de destiladores envolvidos .....	53
Tabela 8: Quantidade de Laboratórios incluídos no projeto relacionada ao volume recuperado e o volume de reservatório necessário .....	54
Tabela 9: Economia mensal baseada no volume de água recuperada e tempo de retorno do investimento.....	55

# **1. Introdução**

## **1.1 A questão hídrica no Brasil e o impacto das universidades**

“Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (NAÇÕES UNIDAS, 1987). Já há mais de três décadas, havia instituições buscando promover a conscientização mundial a respeito do impacto das ações atuais em gerações futuras. A insustentabilidade do modelo econômico dos países industrializados é cientificamente comprovado porém pouco é implementado de fato para que mudanças no estilo de vida ocorram.

Universidades são instituições que funcionam como bases para inovações ao redor do mundo e verdadeiros agentes de mudança (LEAL FILHO et al., 2019), e não faltam exemplos de iniciativas de estudo e implementação de ações para redução do consumo ou reaproveitamento de água nas mesmas. Contudo, não se pode dizer que essas iniciativas possuem um histórico muito longo. O primeiro registro de encontro de instituições de ensino superior para definir e promover sustentabilidade foi feito na França em 1990, tendo comparecido reitores de universidades de todo o planeta, o que posteriormente serviu como exemplo para muitas outras instituições. Todavia, a implementação de ações sustentáveis pelas mesmas ainda enfrenta resistência a novas atitudes e procedimentos e falta de pressionamentos por parte da sociedade (MARINHO et al., 2014).

De acordo com Leal Filho (2009), os níveis de implementação de sustentabilidade em sistemas de universidades podem ser definidos basicamente em três etapas de evolução:

- a) Etapa 1: os princípios de Desenvolvimento Sustentável (DS) não são compreendidos universalmente, não existem esforços significativos para a promoção da sustentabilidade em atividades da universidade e não existem projetos sistemáticos que buscam promover a sustentabilidade de forma holística ou no contexto de assuntos específicos.
- b) Etapa 2: os princípios de DS são amplamente conhecidos e existem esforços significativos para a promoção da sustentabilidade em atividades da universidade. Existem projetos que buscam promover a sustentabilidade na universidade como um todo ou no contexto de projetos específicos, assim como na pesquisa e extensão.
- c) Etapa 3: neste estágio estão as universidades que preenchem os critérios das Etapas 1 e 2 e são comprometidas com a sustentabilidade a longo prazo, por meio

de políticas de sustentabilidade (como a ISO 14001), a existência de muitos membros seniores da equipe que monitoram esforços sustentáveis e a existência de projetos sustentáveis centrais.

O autor comenta também que, embora não seja possível mensurar com exatidão onde se encontra cada uma das universidades, é possível fazer uma estimativa baseada na literatura disponível e também em conferências realizadas no período de 10 anos. Com isso, ele afirma que aproximadamente 20% de todas as universidades se encontram na Etapa 1, especialmente em países em desenvolvimento (como é o caso do Brasil); aproximadamente 70% se encontram na Etapa 2; e até 10% encontram-se na Etapa 3, estando localizadas quase exclusivamente na América do Norte, Europa Ocidental e Austrália/Oceania.

De acordo com o estudo feito entrando em contato com diversas universidades brasileiras por Brandli et al. (2014), as barreiras em comum identificadas em grande parte delas seriam: falta de estratégias mandatórias por parte do programa institucional que motivem os funcionários, professores e estudantes no engajamento com a sustentabilidade; falta de interesse na pauta sustentável; falta de conhecimento sobre sustentabilidade; alegação de que atividades incluindo ensino, pesquisa e gerenciamento da universidade ocupam todo o tempo e não permitem dedicação para implementação de medidas sustentáveis.

Outros problemas também podem ser adicionados à lista:

- a) Mudanças culturais;
- b) Importância atribuída a sustentabilidade;
- c) Falta de um *networking* de cooperação entre universidades;
- d) Políticas governamentais que incentivam a implementação de práticas sustentáveis no campus, especialmente pelo Ministério da Educação;
- e) Falta de recursos ou financiamento disponível para projetos sustentáveis;
- f) Falta de equipes disponíveis para implementar ou supervisionar esforços, o que pode ser em termos de tamanho de equipe ou experiência da mesma;
- g) Falta de projetos entre empresas e universidades e entre e projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Tendo todos esses desafios em mente, uma tendência crescente em universidades brasileiras tem sido a elaboração de Planos de Logística Sustentável (PLS). De acordo com a Instrução Normativa nº 10, de 12 de novembro de 2012 (SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO), os Planos de Logística Sustentável são ferramentas de

planejamento com objetivos e responsabilidades definidas, ações, metas, prazos de execução e mecanismos de monitoramento e avaliação, que permitem ao órgão ou entidade estabelecer práticas de sustentabilidade e racionalização de gastos e processos na Administração Pública. Os mesmos deverão conter, no mínimo:

- a) Atualização do inventário de bens e materiais do órgão ou entidade e identificação de similares de menor impacto ambiental para substituição;
- b) Práticas de sustentabilidade e de racionalização do uso de materiais e serviços;
- c) Responsabilidades, metodologia de implementação e avaliação do plano;
- d) Ações de divulgação, conscientização e capacitação.

Uma comissão responsável pelo desenvolvimento do Plano de Logística Sustentável da UFRJ foi oficialmente formada em novembro de 2020 (PORTARIA N° 8182) e tem como finalidade elaborar, monitorar, avaliar e revisar o referido plano de gestão, observadas as determinações constantes na Instrução Normativa n° 10, de 12 de novembro de 2012, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. O presente trabalho foi elaborado no intuito de contribuir com a elaboração do Plano, com o levantamento de dados e definição de planos de ação para a vertente de reaproveitamento de água no cenário da Escola de Química, localizada no bloco E do Centro de Tecnologia, no Campus Cidade Universitária.

Observa-se de forma geral que, considerando o ritmo de crescimento populacional do Brasil e do mundo e a tendência de urbanização do país, o que leva a um maior consumo de água per capita, é urgente implementar medidas de planejamento e otimização dos recursos hídricos disponíveis por parte de empresas e órgãos públicos. Além disso, dentro da esfera individual de impacto, é importante adotar hábitos conscientes, buscar formas de reaproveitamento e eliminar fontes de desperdício. Logo, além de contribuir para a elaboração do PLS da UFRJ, o presente trabalho é um esforço no sentido de trazer conscientização acerca de algumas possibilidades de melhoria de utilização de recursos em um dos ambientes pioneiros em termos de inovação em qualquer país: as universidades.

## **1.2 Objetivos do Trabalho**

O objetivo geral deste trabalho é propor a reutilização da água que é atualmente desperdiçada nos laboratórios de ensino e pesquisa da Escola de Química da UFRJ (EQ). Espera-se que esse reaproveitamento seja destinado ao uso da própria EQ, a fim de retornar ao corpo docente e discente os benefícios deste projeto.

Para isso, ao longo deste trabalho busca-se mapear quais as possíveis alternativas para a reutilização dessa água através de uma extensa busca na literatura e na internet, definindo qual solução se apresenta como a mais apropriada para a realidade da Escola de Química, quais os requisitos para a sua implementação e qual o seu retorno esperado.

Para atingir o objetivo geral, considera-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Pesquisa por soluções para o reaproveitamento da água desperdiçada pelos equipamentos mapeados;
- b) Realização de entrevistas e visitas aos responsáveis pelos laboratórios a fim de compreender a realidade deles em relação ao uso e ao reaproveitamento de água;
- c) Elaboração de uma proposta para um sistema de reutilização de água considerando a realidade da EQ;
- d) Elaboração de uma análise econômica para mapear e entender os principais custos e retornos do projeto.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Para abordar o desafio exposto e atingir os objetivos mencionados acima, o presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. No primeiro deles foram abordados uma introdução ao tema e suas problemáticas, e os objetivos do trabalho.

No capítulo seguinte foi realizada uma revisão bibliográfica do assunto, abordando o movimento por iniciativas de sustentabilidade em Instituições de Ensino Superior (IES) e a estruturação de Planos de Logística Sustentável (PLS). Também foi feito um estudo de caso, através de pesquisas na literatura e contato com centros da UFRJ, organizado em 3 diferentes formas de solução, que visam o reaproveitamento da água descartada em laboratórios, além de discutir os pontos positivos e negativos de cada um para que posteriormente seja possível entender qual melhor se encaixa ao cenário proposto da Escola de Química.

No Capítulo 3 foi abordada a metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho, incluindo todas as etapas para aquisição dos dados necessários para estabelecer as premissas do estudo, o levantamento de dados realizado na parte de consumo total de água no Centro de Tecnologia e gastos correspondentes para entender o cenário do local de estudo, além de todos os laboratórios que foram mapeados e suas estimativas de gastos mensais com cada equipamento que possui um gasto hídrico relevante. Também é sugerido um local de reutilização para o volume de água a ser reaproveitado, e são estabelecidas premissas para estimar o consumo de água no mesmo e o seu retorno financeiro.

No Capítulo 4 foram expostos todos os resultados obtidos através da metodologia estabelecida e construída uma proposta de intervenção para o cenário apresentado e mapeado. Para isso, são revisadas as três opções de projeto que foram discutidas nos estudos de caso para entender qual delas se encaixa melhor no cenário definido. Além disso, é estimado um valor de consumo mensal de água para o local onde será reutilizada a água recuperada, sugerido no capítulo anterior. Finalmente, são discutidos em detalhes os custos relacionados ao projeto de referência e como esses custos foram adaptados para o presente trabalho, além de definir os mesmos em função do número de laboratórios. Tendo feito esse cálculo, foram analisados diferentes cenários, incluindo um diverso número de laboratórios no projeto a ser executado, com o objetivo de entender qual deles seria o mais viável economicamente.

Por fim, no capítulo cinco é apresentada a conclusão referente a todos os resultados obtidos no trabalho, além de sugestões de implementações e melhorias para trabalhos futuros.

## **2. Revisão Bibliográfica e Estudos de Caso**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

Como já mencionado, cada vez mais pode-se observar iniciativas em IES que buscam implementar conceitos de sustentabilidade a fim de poupar o consumo de recursos naturais ou reduzir o impacto das atividades dessas instituições no meio ambiente. Essas iniciativas abrangem diversos pilares da sustentabilidade, como o consumo de água e energia elétrica e a produção e o descarte do lixo e produtos químicos produzidos nos *campi*.

Como o presente trabalho busca endereçar o problema do desperdício excessivo de água nos laboratórios da universidade, foi realizado um levantamento de informações sobre as iniciativas propostas e, em alguns casos, implementadas em instituições de ensino e outras instituições privadas nessa área.

Inicialmente foram levantadas informações sobre projetos realizados dentro da Universidade, uma vez que o fato de estarem na mesma instituição facilitava o contato e o acesso à informação.

Dado que muitas dessas iniciativas de menor porte não são publicadas em artigos científicos ou periódicos, foram utilizados diversos mecanismos de busca da internet a fim de encontrar projetos acadêmicos ou privados nesta área. Para isso, foram utilizadas as palavras-chave “reutilização água destilador”, “reaproveitamento água destilador”, “economia água destilador”, “reuso água destilador”, “iniciativa reuso de água laboratório”, “economia de água instituição de ensino superior”. A fim de aumentar ainda mais o alcance da pesquisa e incluir projetos e materiais estrangeiros, foram também realizadas pesquisas utilizando as mesmas palavras-chave citadas anteriormente traduzidas para o inglês.

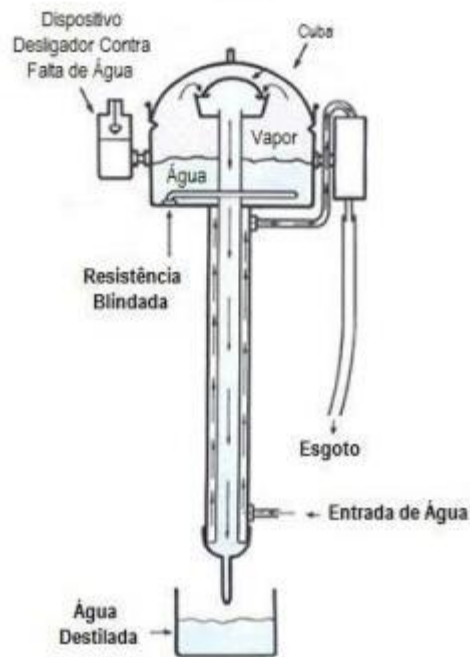
Das publicações encontradas, grande parte relatava estudos teóricos ou de projetos pilotos iniciais, mas não foram encontrados muitos projetos que de fato foram implementados em grande escala. Os resultados de implementação de fato encontrados serão discutidos no tópico 2.2 “Estudos de Caso”.

Pôde-se perceber que a grande maioria dos projetos encontrados buscavam reaproveitar a água desperdiçada durante o processo de produção de água destilada em aparelhos chamados destiladores, visto que este tipo de equipamento possui uma baixa eficiência e é bastante usado em atividades de rotina de um laboratório de ensino.

O funcionamento básico de um destilador conta com o aquecimento de água e uma posterior condensação, que é realizada por meio de um trocador de calor para o resfriamento (SARDELLA, 1997). A fonte fria utilizada nessa troca térmica é justamente a água proveniente

da rede de abastecimento urbano, que passa pelo sistema em uma corrente contínua e é diretamente descartada, mesmo estando nos mesmos níveis de potabilidade iniciais.

Figura 1: Esquema de um destilador.



Fonte: DELTA equipamentos para laboratório, 2021

A eficiência de equipamentos como os destiladores em geral é muito baixa, ou seja, é necessário gastar um alto volume de água na alimentação para produzir um volume pequeno do produto desejado. No caso de destiladores, esse volume de alimentação varia entre 21 e 60 L de água de refrigeração para cada litro de água destilada produzida (APPELT et al., 2008; AZEVEDO et al., 2016; SILVA, 2014).

A água desperdiçada durante o funcionamento do destilador é usada apenas para troca térmica, a fim de condensar a água destilada produzida, e, por isso, ela é descartada praticamente com as mesmas propriedades químicas e físicas da água entrante no processo, exceto pela sua temperatura. O processo em questão será abordado com mais detalhes nos capítulos seguintes. Esse fato foi o primeiro indício de que esses equipamentos são os principais causadores de desperdícios nos laboratórios de ensino e pesquisa, indício este que foi confirmado na etapa de mapeamento de fontes de desperdícios, que também será abordada nos próximos capítulos.



Durante a realização desta pesquisa, foi possível identificar três principais alternativas para redução do problema de alto desperdício no caso dos destiladores, que serão descritos a seguir:

- a) Reintegração da água ao sistema de abastecimento central do prédio;
- b) Adaptação do processo de destilação para possibilitar a reutilização da água no próprio destilador;
- c) Armazenamento da água para posterior utilização no próprio laboratório.

As três alternativas mencionadas apresentam diferentes níveis de complexidade, já que foram propostas para distintas realidades de estrutura e investimento. Entretanto, todas propõem soluções interessantes para o problema e foram utilizadas como referências para a proposta de intervenção na Escola de Química, apresentada ao final deste trabalho.

## **2.2 Estudos de Caso**

A seguir, serão abordadas individualmente as três opções mencionadas anteriormente, através dos principais exemplos que foram encontrados para cada proposta de reutilização. Em tempo, vale ressaltar que o nível de detalhes abordados em cada caso variou em função da quantidade de informações disponíveis.

### **2.2.1 Reintegração da água ao sistema de abastecimento central do prédio**

A primeira alternativa a ser abordada consiste na recuperação da água descartada para que seja reinserida em um reservatório central do edifício em que está localizado. Esta representa uma alternativa que envolve um maior nível de dificuldade e custo de implementação, uma vez que é necessário realizar obras de infraestrutura para tal. Dentre as construções necessárias, é preciso inserir tubulações que conectem as saídas de descarte ao reservatório central e, dependendo do caso, instalar bombas que ajudem a circulação do fluido pelo sistema. Isso envolve, além dos custos de material e mão de obra qualificada para executar o projeto, um estudo de engenharia para determinar o arranjo de tubulações e as potências das bombas necessárias para o sistema. Portanto, esse tipo de solução para reduzir o descarte só é interessante em situações em que existe um grande volume de água descartada, geralmente associado a um número relevante de laboratórios que fazem uso de água destilada com bastante frequência.

A UFRJ já possui um sistema de reuso através de reservatório central implementado, que opera desde 2015 no seu Centro de Ciências da Saúde. Sendo um projeto da própria instituição, foi possível obter muitos detalhes do projeto ao entrar em contato com os envolvidos na sua implementação, os quais serão abordados a seguir.

### **2.2.1.1 Projeto implementado no CCS/UFRJ**

O presente estudo de caso reúne informações obtidas por meio de uma série de entrevistas realizadas ao longo do ano de 2021 com o então assistente técnico do escritório de projetos do Fundo Verde da UFRJ, que esteve envolvido de forma central no projeto que será abordado. Além das entrevistas, também foram fornecidos por ele uma série de documentos, como a proposta de projeto que foi inicialmente submetida, orçamentos e relatórios de andamento de execução.

Criado pelo decreto estadual N° 43.903/2012, o Fundo Verde de Desenvolvimento e Energia para a Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro recebe recursos oriundos da isenção do imposto ICMS, cobrado pelo governo do estado do Rio de Janeiro, sobre a conta de energia elétrica do campus da Cidade Universitária da UFRJ. A receita é revertida para projetos de melhoria da mobilidade, uso da energia – eficiência e produção a partir de fontes alternativas –, redução do consumo de água e monitoramento de indicadores no campus. Os projetos são gerenciados pelo escritório de projetos do Fundo Verde e pela Fundação de Apoio da UFRJ- COPPETEC e contam com o apoio de diversos setores da UFRJ para implementação. Todos os gastos são submetidos a aprovação de um conselho, formado por representantes da iniciativa pública e privada, da universidade, e profissionais de notório saber nas áreas de atuação do Fundo.

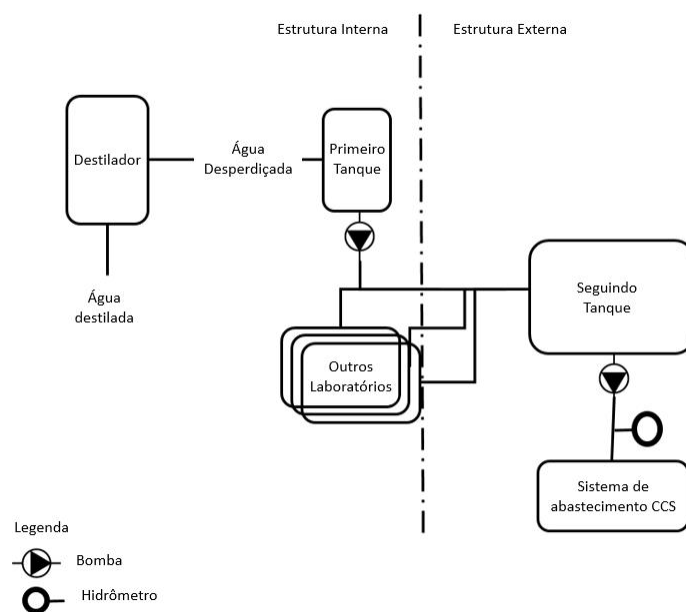
O "Projeto de Reutilização de Água de Destiladores e Instalação de Redutores de Fluxo do CCS" foi submetido ao “Concurso Soluções Sustentáveis” do Fundo Verde da UFRJ em 2014, com o objetivo de atuar como uma frente de sustentabilidade inovadora no centro universitário, que contava com 326 laboratórios e uma circulação diária de cerca de 20 mil pessoas no momento em que o projeto foi elaborado. A unidade, cujo nome completo é Centro de Ciências da Saúde (CCS), é um complexo com unidades de ensino, pesquisa e extensão dentro do campus Cidade Universitária da UFRJ, e abrange os cursos da área da saúde. O orçamento oferecido para a completa implementação do projeto pelo edital do “Concurso Soluções Sustentáveis” foi de R\$ 500.000,00 e o principal objetivo do projeto foi a reutilização da água descartada de destiladores, visto que os mesmos produzem um insumo indispensável para atividades da maioria dos laboratórios, e o seu processo de purificação de água é

intrinsecamente dispendioso. O projeto contou com uma etapa piloto que foi aplicada em apenas três laboratórios como uma fase de testes, e foi posteriormente replicado para 36 laboratórios do centro. Durante essa etapa piloto, a água recuperada foi direcionada para uma estação de coleta de nitrogênio líquido, que possui uma demanda elevada e constante de água, e estava localizada fisicamente próxima aos destiladores da etapa piloto.

A segunda frente do projeto foi a instalação de redutores de fluxo em torneiras de banheiros e laboratórios do centro. Contudo, como o presente trabalho focou apenas na recuperação da água de destiladores, apenas a primeira iniciativa foi detalhada.

O sistema de reaproveitamento baseia-se na captação dessa água descartada na produção de água destilada e sua destinação para um reservatório de 50 L em cada laboratório. Esse reservatório, nomeado como Unidade Autônoma de Bombeamento e Captação (UACB), continha uma eletroboia conectada a uma bomba que, quando acionada, esvaziava-o e direcionava esse volume a uma rede de canos que conectava cada um desses reservatórios a um reservatório maior, com capacidade para 30.000 L, localizado na área externa ao prédio. Por fim, bombas de maior potência destinavam a água de volta ao sistema de abastecimento regular do prédio, onde seria misturada com a água vinda do abastecimento urbano da CEDAE e estaria disponível para uso dos alunos, professores e funcionários do CCS, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2: Modelo esquemático do sistema de captação e reaproveitamento de água descartada dos destiladores



Fonte: Relatório Interno do Projeto, 2021

No que tange à utilização da água reaproveitada, é importante ressaltar que, embora haja resistência quanto ao uso de água reaproveitada para o consumo humano, o volume reutilizado passou por testes de potabilidade para verificar a sua adequação frente a Portaria MS nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. A preocupação era verificar os níveis de cloro residual livre remanescentes na água, visto que com o alto aquecimento da mesma era possível que houvesse alterações físico-químicas na sua composição. As análises foram feitas seguindo a NBR 9898 (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores). Segundo a portaria do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido de cloro livre são 5,0 mg/L. O resultado da água de reuso, comparada com a água de abastecimento da CEDAE é detalhado na tabela 1.

Tabela 1: Resultado dos Testes de Potabilidade

Parâmetro	V.M.P (MS 2914)	Resultados	
		Abastecimento	Reuso
<b>Ferro</b>	0,3 mg/L	0,36 mg/L	0,28 mg/L
<b>Dureza Total</b>	500 mg/L	21,4 mg/L	21,1 mg/L
<b>Cloro Livre</b>	5,0 mg/L	4,8 mg/L	4,6 mg/L
<b>Sólidos Dissolvidos Totais</b>	1000 mg/L	74,2 mg/L	63,8 mg/L
<b>Coliformes Fecais</b>	Ausência em 1000 mL	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
<b><i>Escherichia coli</i></b>	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL

Fonte: Relatório Interno do Projeto, 2021

Foi observado que a água de reuso estava não apenas adequada para o consumo, como ligeiramente melhor do que a água de abastecimento, visto que está mais distante do limite máximo permitido de cloro livre de 5,0 mg/L. É importante ressaltar que o cloro residual livre é adicionado à água durante o seu processo de tratamento e representa a quantidade de cloro que permanece na água durante o seu percurso na rede de abastecimento, garantindo ausência de micro-organismos. É compreensível que a sua concentração seja levemente reduzida na água de reuso, visto que a mesma passa por trocas térmicas em altas temperaturas e uma parte pode evaporar arrastando parte do cloro. Contudo, a concentração do cloro não caiu abaixo do limite inferior de cloro residual livre recomendado pela Organização Mundial da Saúde (2011), definido em 0,2 mg/L para garantir a proteção contra a proliferação de micro-organismos.

Para a etapa piloto, que abrangeu dois laboratórios e três destiladores, foi planejado um armazenamento externo de 5.000 L, sendo a saída do destilador direcionada diretamente para o mesmo. Foram instaladas também duas bombas, responsáveis pela transferência da água

entre os destiladores, o reservatório e a estação de nitrogênio. É importante ressaltar que, embora as bombas tenham um gasto energético inerente ao seu funcionamento, as mesmas são acionadas apenas pontualmente, já que é previsto o uso de boias e sensores para indicar níveis nos quais é necessária a transferência entre tanques. Essa etapa como um todo teve um orçamento de aproximadamente R\$ 4.000 e foi finalizada em outubro de 2015, quando os três primeiros sistemas de captação começaram a operar.

Após isso, garantido o desempenho do piloto e a validade do sistema de reaproveitamento, o projeto pôde ser expandido para os demais laboratórios mapeados, que passaram a abastecer o sistema central de abastecimento de água do prédio, e não mais apenas a estação do processo de coleta de nitrogênio líquido.

Apesar do planejamento inicial do projeto ter considerado que o orçamento possibilitaria abranger 200 destiladores, chegou-se à conclusão de que seria possível abranger apenas mais 36 equipamentos, além dos três já contemplados durante a etapa piloto. Um dos prováveis motivos dessa superestimativa inicial foi o custo da mão de obra. Inicialmente, acreditava-se que seriam gastos R\$ 1.000 a cada dois laboratórios para a implementação, mas o gasto observado no projeto piloto superou este valor consideravelmente. A seleção dos laboratórios que seriam contemplados levou em consideração fatores como eficiência dos destiladores e a distância entre o destilador e o ponto de conexão à rede de água.

Para a implementação do projeto, foi realizada uma licitação pública, através da qual foi escolhida a empresa que seria responsável pelos processos de compra de material e instalação das bombas, tubulações e reservatórios. A implementação do sistema de reaproveitamento como um todo se deu em julho de 2017.

Após 39 meses de operação já haviam sido reutilizados 5.343 m<sup>3</sup> de água, sendo uma média mensal de 25 m<sup>3</sup> captados na primeira fase do projeto, que apresentava apenas três destiladores e durou 22 meses, e uma média de 281 m<sup>3</sup> na segunda fase com 39 destiladores contemplados, que, por sua vez, até o momento contava com 17 meses. Esse último volume representa 2,5% do consumo de água total do CCS.

Para analisar o retorno financeiro do projeto, foi considerado apenas o funcionamento do sistema completo, ou seja, para todos os 39 destiladores. Utilizando o valor médio do metro cúbico de água de R\$ 21,35 e a média de água recuperada, estima-se uma economia de R\$ 6 mil mensais à Universidade. Considerando o gasto total de R\$ 490 mil do projeto, o investimento seria pago em aproximadamente sete anos sem considerar o valor do dinheiro no tempo. Vale pontuar também que o consumo de energia calculado para a operação do sistema

de reaproveitamento foi, em média, de 84 kWh ao mês, o que representa menos de 0,001% do consumo total do CSS, e, por isso, não foi considerado no cálculo de retorno financeiro.

### **2.2.2 Adaptação do processo de destilação para possibilitar a reutilização da água no próprio destilador**

Esta alternativa, quando comparada a anterior, pode indicar uma menor complexidade, visto que a proposta é atuar pontualmente em um único aparelho de destilação para retornar a água descartada como entrada no processo. Contudo, embora esta alternativa não envolva grandes obras de implementação, existe um obstáculo de viabilização do sistema fechado de reciclo da água descartada. Isso significa que, tendo em vista que a água de descarte do destilador sai do sistema em altas temperaturas, ao redirecioná-la imediatamente como entrada de alimentação do equipamento, é provável que o sistema atinja altas temperaturas rapidamente, e a resistência do equipamento desarme por segurança. Por isso, o maior desafio dessa alternativa é adaptar um sistema de resfriamento para a água de reciclo que não envolva gastos relevantes de energia, uma vez que gastar energia elétrica para resfriar a água e poupar o seu descarte desvia do propósito de uma solução sustentável.

Neste tópico serão discutidas duas iniciativas para a alternativa em questão e ambas buscaram utilizar técnicas de resfriamento para a corrente de saída de água do destilador, com ou sem uso de energia elétrica. Os resultados de cada uma delas serão discutidos a seguir.

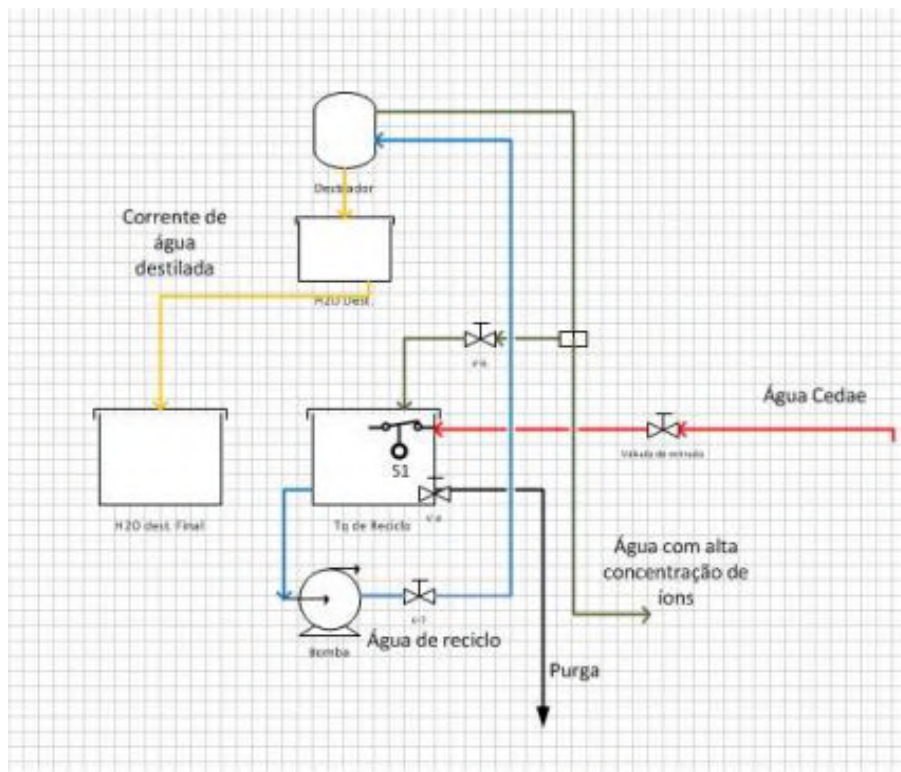
#### **2.2.2.1 Projeto implementado pela EQ Hands-On**

O projeto em questão foi realizado pela equipe da EQ Hands-On durante o ano de 2019. A EQ Hands-On é uma organização que surgiu a partir da iniciativa de alunos e professores da Escola de Química/UFRJ e foi criada em 2015 com o intuito de revitalizar a área industrial da Escola com a reforma de equipamentos há muito tempo parados. Hoje, a organização já conta com mais de seis projetos concluídos e mais de 30 pessoas envolvidas, entre alunos, professores e técnicos (EQ Hands-On, 2022). As informações desse estudo de caso foram obtidas através do relatório interno do projeto, no qual a coautora do trabalho esteve envolvida.

O projeto mencionado foi desenvolvido no LabTare - EQ/UFRJ, localizado no bloco I do Centro de Tecnologia e teve como objetivo projetar um sistema capaz de recircular água de destilador que seria descartada, que fosse economicamente viável, e utilizasse materiais reutilizados ou de baixo custo. O projeto foi inspirado em um trabalho semelhante realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (MATOS, S. C. C. et al., 2015) no qual foi proposto um sistema fechado de reciclo da água descartada do destilador para retorno como alimentação

para o equipamento. Foi proposto inicialmente o fluxograma apresentado na Figura 3 para a operação.

Figura 3: Fluxograma elaborado pela equipe



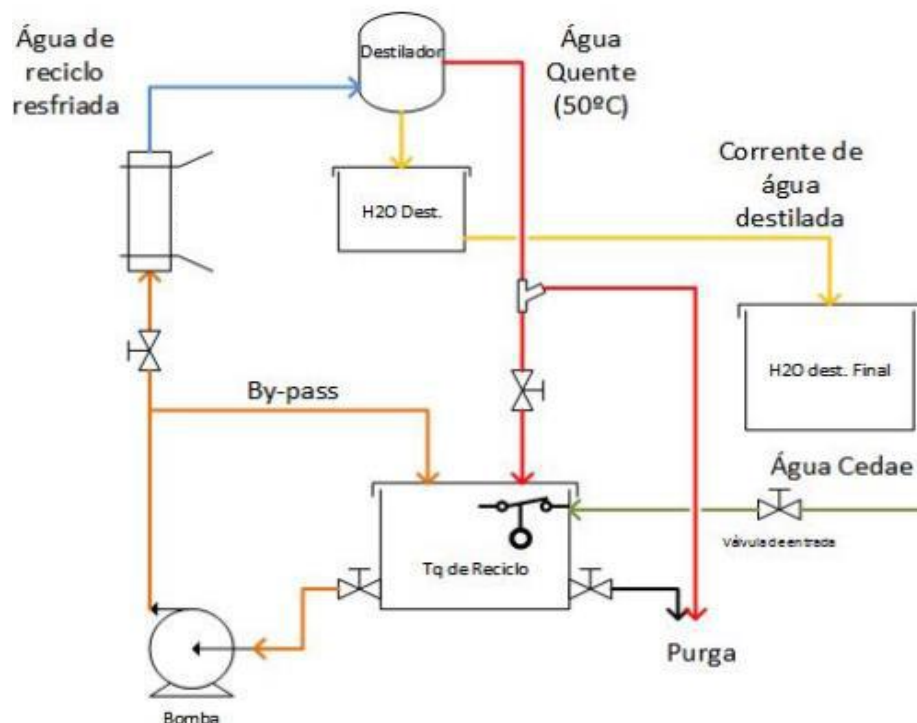
Fonte: Relatório Interno do Projeto, 2019

O principal problema encontrado foi a elevada temperatura da água na saída do processo, que impedia que ela fosse reintroduzida imediatamente no destilador sem impacto na eficiência do processo. A fim de solucionar essa questão, foi proposto que metade da água que saía do destilador seria descartada e a outra metade armazenada no tanque, onde aconteceria o resfriamento da água de forma natural. A fim de controlar esse volume, instalou-se um controlador de fluxo antes da entrada do tanque de reciclo. Um outro controlador de fluxo também foi instalado entre o tanque e a bomba para evitar uma possível vazão de entrada excessiva no destilador.

Apesar da solução proposta para a redução da temperatura de saída, através de testes de temperatura verificou-se que ainda seria necessário um sistema de resfriamento para atingir uma temperatura ideal de reaproveitamento. Portanto, instalou-se uma serpentina de cobre pela qual a água percorreria após sua saída do destilador, favorecendo a troca térmica com o ambiente e redução de sua temperatura.

Entretanto, por meio de testes de temperatura, concluiu-se então que seria necessária a utilização de um sistema mais sofisticado e eficiente de resfriamento, como um compressor para resfriamento, placas de Peltier ou termosifão, o que poderia levar a um gasto mais significativo de energia elétrica. Foi proposta então uma possível solução mais factível, que se assemelha à uma torre de resfriamento. A proposta utiliza-se de uma serpentina de cobre com diâmetro maior que a já testada, para diminuir a perda de carga e minimizar a redução da vazão de água, dois coolers, como os de computador, e um sistema de gotejamento de água sobre a serpentina, a fim de aumentar a taxa de troca térmica. Entretanto, como não foi implementada e testada, a etapa de resfriamento não foi especificada no fluxograma final do trabalho, mostrado na Figura 4, dando espaço para futuros trabalhos realizarem outros estudos e propostas.

Figura 4: Fluxograma final



Fonte: Relatório Interno do Projeto, 2019

Como pode ser observado na Figura 4, o sistema de resfriamento foi posicionado logo antes do destilador, o que gerou a necessidade de compra de uma bomba capaz de resistir a temperaturas mais altas já que bombas comuns geralmente trabalham com limites de temperatura ambiente. A fim de retirar a restrição de vazão da bomba que foi adquirida para o projeto, foi proposta a utilização de um *by-pass*, que retornaria ao tanque toda a vazão de água



excedente, o que também será benéfico para a homogeneização da temperatura da água no tanque, devida a adição de uma nova fonte de turbilhonamento da água. Também foi adicionada uma nova linha de purga, da água quente, com o objetivo de reduzir a sua entrada no tanque, diminuindo o trabalho de remoção de calor.

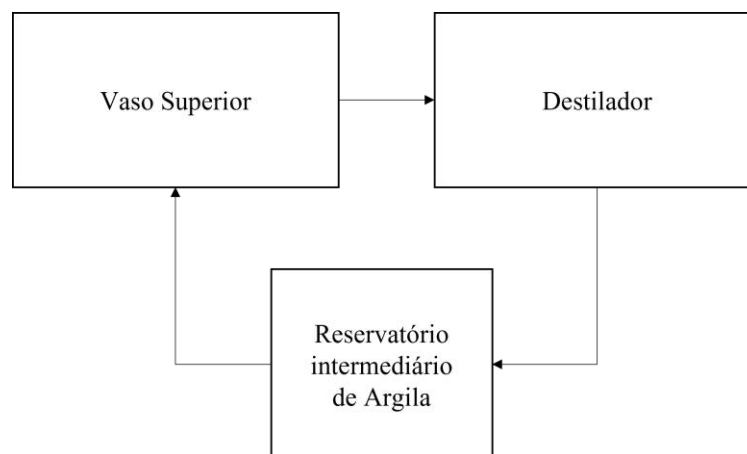
O orçamento final do projeto foi de R\$ 225,00 para adquirir todos os materiais citados, porém, como não chegou a atuar continuamente, não foi possível estimar um retorno financeiro ou uma estimativa de reaproveitamento de água mensal.

### 2.2.2.2 Projeto com reservatório de argila

Uma alternativa encontrada na literatura que busca possibilitar a reutilização da água descartada do destilador no próprio sistema foi proposta por K.P. Sharma (K.P. Sharma, 2004). A solução propõe uma adaptação simples do aparato de destilação, utilizando uma técnica indígena de resfriamento: o reservatório de argila.

Como já comentado anteriormente, o principal problema da reutilização da água descartada após a sua utilização para troca térmica no destilador é a sua elevada temperatura de saída. Para solucionar esse problema, é proposta a coleta e armazenamento da água descartada em um reservatório intermediário feito de argila inserido em um recipiente feito de cimento preenchido com areia molhada. Esse reservatório serve para resfriar a água e possibilitar a sua reutilização no processo, sem perda de eficiência no processo de destilação.

Figura 5: Diagrama do sistema



Fonte: Elaboração Própria. Adaptado de K.P. Sharma, 2004

Como demonstrado no esquema da Figura 5, a água coletada no vaso de argila é resfriada e, com o auxílio de uma pequena bomba, é bombeada a um vaso localizado em um nível

superior, idealmente também feito de argila, onde a água é armazenada para sua posterior reutilização no processo de destilação.

Vale explicar o funcionamento do reservatório de argila. Utilizado inicialmente pelos povos indígenas, ele é adotado até os dias de hoje ao redor do mundo como uma solução para o armazenamento de água potável a uma temperatura mais agradável. Sua propriedade térmica pode ser explicada pelo fenômeno conhecido como evaporação.

A argila é um material natural composto por minerais de pequeno diâmetro. Por esse motivo, objetos construídos com esse material apresentam pequenos poros em suas paredes, que possibilitam a passagem de pequenas quantidades de fluidos. Quando um reservatório de argila é utilizado para armazenar água, os poros permitem que pequenas quantidades desse líquido atravessem a parede e cheguem à superfície externa do reservatório. Em contato com o ar, essas gotículas de água evaporam e, como o processo de evaporação depende da absorção de calor, o vaso cede calor à água que evapora. Isso leva a uma diminuição da temperatura do reservatório e, conseqüentemente, da água em seu interior.

Desta forma, foi proposto um sistema que utiliza mínima energia elétrica para o resfriamento da água de destilação. A única energia necessária no processo é na alimentação da bomba responsável por levar a água do primeiro reservatório ao tanque superior. Além disso, uma outra vantagem é que como o sistema não mais depende do constante abastecimento de água de resfriamento, o mesmo não necessita estar conectado a uma torneira e nem estar próximo de uma, possibilitando a sua instalação em qualquer local. Além disso, essa modificação se prova útil também em localidades onde, durante o verão, a água proveniente do encanamento chega aquecida ao destilador devido à temperatura onde ela é armazenada, o que impacta negativamente na eficiência do processo. O ponto negativo dessa alternativa é que, para volumes altos de água a ser resfriada, apenas uma pequena parte do fluido entraria em contato com as paredes de argila para a troca de calor, e a técnica perderia a sua eficiência.

### **2.2.3 Armazenamento da água para posterior utilização no próprio laboratório**

Nesta terceira alternativa é discutida a forma de aproveitamento mais simples comparada às outras duas previamente mencionadas, visto que o recolhimento da água descartada no processo de destilação e o seu armazenamento não implicam em dificuldades de design de equipamento para controle de temperatura, ou estruturas de construção para transferir o volume de água recolhido para um reservatório central. Por outro lado, essa é uma alternativa que limita as possíveis formas de reaproveitamento de água, visto que ela precisa ser utilizada no mesmo

ambiente em que está sendo recolhida. Além disso, há também a restrição de volume a ser armazenado, pois laboratórios não costumam ter grandes espaços livres para a instalação de um grande tanque de armazenamento. Logo, essa é uma alternativa interessante para laboratórios que fazem uso menos frequente do equipamento em questão, resultando em volumes moderados de água a serem descartados e que podem, por sua vez, serem facilmente reutilizados no laboratório para atividades rotineiras, como lavagens de vidrarias, por exemplo.

A seguir, serão discutidos dois exemplos onde foram feitos projetos nesse formato.

### **2.2.3.1 Projeto implementado pelo Laboratório de Análise Química – Caramuru Alimentos**

O presente estudo (BONFIM, 2015) foi realizado em um laboratório de análise química da empresa Caramuru Alimentos, situada no setor industrial do município de São Simão Goiás, localizado no extremo sudoeste goiano, na Bacia do Rio Paranaíba e na microbacia do Baixo Paranaíba, ocupando uma área de aproximadamente 414 km.

O objetivo do projeto é reaproveitar a água descartada da destilação para utilização na lavagem de vidrarias do laboratório. Por se tratar de uma fábrica de alimentos, foram realizadas análises do potencial hidrogeniônico (pH), dos coliformes totais e fecais, seguido do cálculo do consumo de água durante o processo de destilação e viabilidade financeira, por meio do orçamento dos materiais a serem utilizados no sistema de reaproveitamento.

Para o cálculo do consumo de água no destilador em questão, foram coletados dados da quantidade de água destilada e o descarte através do destilador da marca TE – 1782, onde foram posicionados reservatórios nas duas saídas de água. Esta etapa do estudo foi repetida por três dias seguidos, com a ajuda de um galão de 5 L, outro de 10 L e um cronômetro. O processo foi observado por cerca de 1 hora para observar a quantidade de água que foi destilada, e também cronometrado durante 5 minutos a quantidade de água descartada, obtendo os seguintes valores:

- a) 5 minutos = 10 Litros de água descartados;
- b) 1 hora = 3,5 Litros de água destilada produzida.

Logo, com os dois dados apresentados, chega-se ao valor de 34,3 L de água descartada para 1 L de água destilada produzida.

Analisando a viabilidade de implementação do projeto, devido ao destilador encontrar-se instalado na parede que dá acesso ao lado externo do laboratório, havia uma maior facilidade na instalação dos equipamentos necessários para captar a água de resfriamento e encaminhá-la

a uma das torneiras do laboratório, onde são lavadas as vidrarias utilizadas. Por conta disso, foi analisada a possibilidade da instalação de uma caixa d'água de 1.000 L no lado de fora do laboratório com tubulações levando a água de resfriamento que será direcionada para caixa até a torneira que se encontra próxima ao destilador.

Quanto aos resultados das análises previamente mencionadas, foi utilizada a PORTARIA 2.914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece padrões de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, como referência para a comparação de resultados, e não foi detectada a presença de coliformes fecais e totais em três amostras coletadas da água a ser reutilizada.

Na análise de pH, foram obtidos resultados distintos para cada coleta, como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado da análise de pH das águas do processo de destilação.

<b>Tipo de Água</b>	<b>Primeira Coleta</b>	<b>Segunda Coleta</b>	<b>Terceira Coleta</b>
<b>Água da torneira</b>	9,50	9,49	9,25
<b>Água de resfriamento</b>	9,22	9,50	9,18
<b>Água destilada</b>	6,96	6,32	6,98

Fonte: Bonfim, T. R. S. et al., 2015.

De acordo com a PORTARIA 2.914/11 previamente citada, é indicado que o pH da água seja mantido entre 6,0 e 9,5%. Apesar dessa diferença, todas as amostras obtiveram resultados dentro dos padrões exigidos, ou seja, a lavagem das vidrarias utilizando a água de reuso terá a mesma eficácia sem comprometer assim as análises que serão posteriormente realizadas.

A Tabela 3 mostra o estudo de volumes de água descartada e destilada realizado no laboratório para verificar a viabilidade econômica do projeto, obtendo os seguintes resultados:

Tabela 3: Quantidade de água destilada e descartada durante o processo de destilação.

<b>Tempo</b>	<b>Água Destilada (L)</b>	<b>Água Descartada (L)</b>
<b>5 min</b>	-	10
<b>1 h</b>	3,5	120
<b>2h</b>	7	240
<b>Por dia</b>	21	720
<b>Por mês</b>	630	21.600

Fonte: Bonfim, T. R. S. et al., 2015.

O laboratório químico da empresa funciona 24 horas por dia e 7 dias por semana. Desta forma são descartados 21.600 L de água por mês para obtenção de apenas 630 L de água destilada. Logo, há um grande potencial de reaproveitamento de água.

A viabilidade econômica foi analisada listando os recursos necessários para o projeto a seguir. É importante ressaltar que não foram considerados custos adicionais de mão de obra já que a própria empresa possui funcionários que poderiam realizá-la.

Foi levantado um custo de R\$ 348,00 para a realização do projeto e, na Tabela 3, é possível observar que esse investimento viabilizaria a recuperação de 21.600 L de água por mês. Logo, é possível verificar que o modelo de reaproveitamento em questão para o caso analisado é bastante proveitoso, já que o investimento financeiro necessário é baixo, e não é preciso realizar nenhum tratamento na água a ser utilizada. Por conta disso, o retorno financeiro seria obtido rapidamente, além do fato de que iniciativas ecológicas também podem servir como um projeto de marketing externo para fortalecer a imagem da empresa.

### **2.2.3.2 Projeto implementado pelo Laboratório de Química - PUC Minas – Barreiro**

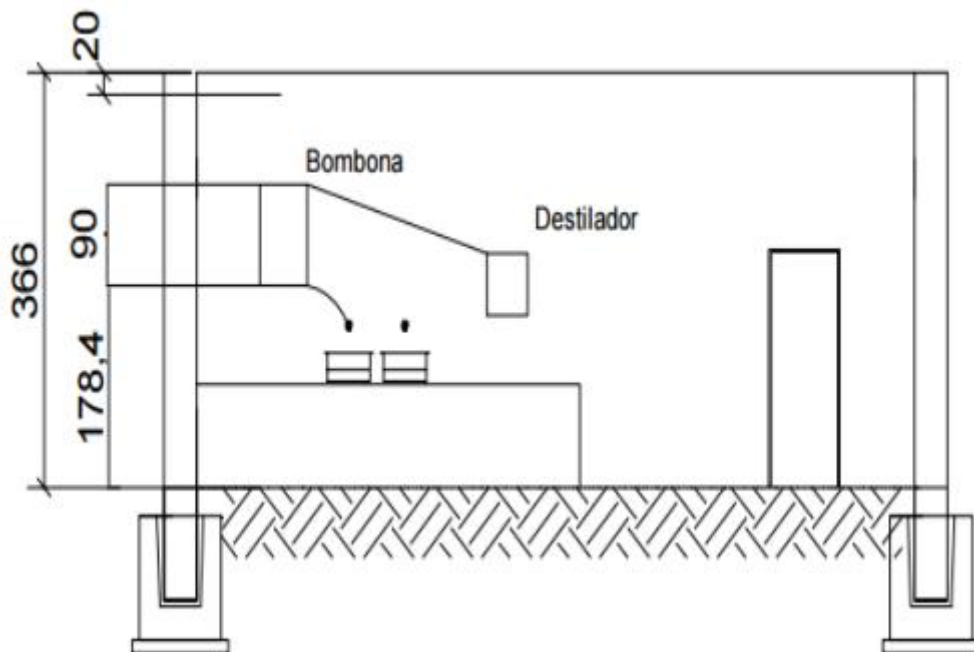
O estudo realizado na Universidade Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais unidade Barreiro (Aguiar, M. B. et al., 2018) leva em consideração para o projeto um destilador localizado no laboratório de química dos cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção e Ciências Biológicas, o qual após medições definiu-se utilizar 17 L de água para 1 L de água destilada produzida. Embora trate-se de um aparelho comparativamente eficiente, uma vez que destiladores podem usar mais de 40 L por litro de água destilada, ainda trata-se de um volume significativo. O presente trabalho propõe o dimensionamento de um reservatório que reaproveite a água que seria desperdiçada pelo destilador, para lavagem de vidrarias no próprio laboratório.

O destilador em questão é utilizado apenas para aulas práticas de laboratório dos cursos mencionados a cada semestre, e, portanto, caracteriza-se como um baixo volume ideal para essa alternativa e solução, como mencionado anteriormente. Como o destilador em questão possui uma capacidade máxima de 10 L de água destilada, seria necessário ter um reservatório para 170 L de água descartada, ou 200 L como uma margem de segurança.

Por restrições de espaço dentro do laboratório, a equipe estimou que a melhor opção a ser utilizada seria um tanque de armazenamento tipo bombona com dimensões de 90 x 58 cm (200 L) feito de polietileno. O material em questão é interessante para esse caso pois não é degradado com altas temperaturas, como é o caso da temperatura da água logo após a saída do

destilador, que chega a temperaturas de aproximadamente 60 °C. Além disso, o reservatório foi planejado para ficar logo acima do destilador, de forma a facilitar a acessibilidade dos funcionários que utilizariam a água para lavagem de vidrarias. A proposta apresentada é representada no esquema da Figura 6, no qual as dimensões são apresentadas em centímetros.

Figura 6: Esquema do reaproveitamento de água.



Fonte: Aguiar, M. B. et al., 2018.

Com base na tabela tarifária de aplicação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (2016), a equipe estimou que o reuso no laboratório traria uma economia de R\$ 20,00 por semestre, o que é um valor pequeno, porém o projeto pode incentivar outras aplicações na instituição onde haja um maior volume de utilização, logo é um investimento interessante para influenciar a mentalidade de reuso nas escolas e universidades.

Além disso, como já mencionado, a água armazenada tem como uso proposto a própria lavagem de materiais no laboratório, então caracteriza um ciclo de reutilização mais individual do que o projeto que foi realizado no CCS, porém também proveitoso para um cenário em que não há um grande volume a ser reaproveitado, ou para um projeto piloto abrangendo apenas um laboratório. Este formato também apresenta uma vantagem em relação ao tópico anterior, visto que não é necessária nenhuma influência no controle de temperatura da água saída do destilador, e a mesma pode resfriar naturalmente dentro do reservatório, o que caracteriza a simplicidade e fácil replicação do projeto.

## 2.2.4 Análise comparativa dos casos estudados

Após a apresentação e discussão dos projetos encontrados, é possível perceber que cada um deles se mostra adequado a uma diferente realidade. No Quadro 1 estão listados cada um dos casos estudados e os pontos positivos e negativos quanto a implementação.

Quadro 1: Resumo dos pontos positivos e negativos dos casos estudados

Casos	Ponto Positivos	Ponto Negativos
Reintegração da água ao sistema de abastecimento central do prédio		
Projeto implementado no Centro de Ciências da Saúde	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A mesma solução abrange diversos laboratórios</li> <li>▪ A água reaproveitada pode ser reutilizada em todo o prédio</li> <li>▪ Baixo gasto energético</li> <li>▪ Adequado para grandes volumes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto Custo</li> <li>▪ Grande complexidade de implementação</li> <li>▪ Requer obras de infraestrutura</li> </ul>
Adaptação do processo de destilação para possibilitar a reutilização da água no próprio destilador		
Projeto implementado pela EQ Hands-On	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baixo custo de implementação</li> <li>▪ Descarta a necessidade de armazenamento água no próprio laboratório</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura da água recuperada dificulta a sua reutilização e demanda alterações no equipamento</li> <li>▪ Recuperação apenas de parte da água descartada</li> <li>▪ Deve ser implementado individualmente para cada laboratório</li> </ul>
Projeto com reservatório de argila	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solução simples e barata para o problema da temperatura da água, independente de energia elétrica</li> <li>▪ Destilador não necessita mais estar conectado a uma saída de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limitação quanto ao volume de água a ser reutilizado e o tempo necessário para resfriá-la</li> <li>▪ Deve ser implementado individualmente para cada laboratório</li> </ul>
Armazenamento da água para posterior utilização no próprio laboratório		
Projeto implementado pelo Laboratório de Análise Química – Caramuru Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Não necessitam de mecanismos para resfriamento da água de saída</li> <li>▪ Baixo custo de implementação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Devem ser implementados individualmente para cada laboratório</li> <li>▪ Necessitam de um espaço significativo para o armazenamento da água dentro do laboratório ou área externa próxima</li> </ul>
Projeto implementado pelo Laboratório de Química - PUC Minas – Barreiro		

Fonte: Elaboração Própria, 2022

Pelo que é discutido no quadro anterior, é possível perceber que não há uma melhor solução definitiva, e que a escolha varia de acordo com as circunstâncias do projeto. Para projetos de grande escala, a reintegração da água ao sistema de abastecimento central seria a alternativa mais adequada, uma vez que dessa forma há um grande gasto inicial, porém é

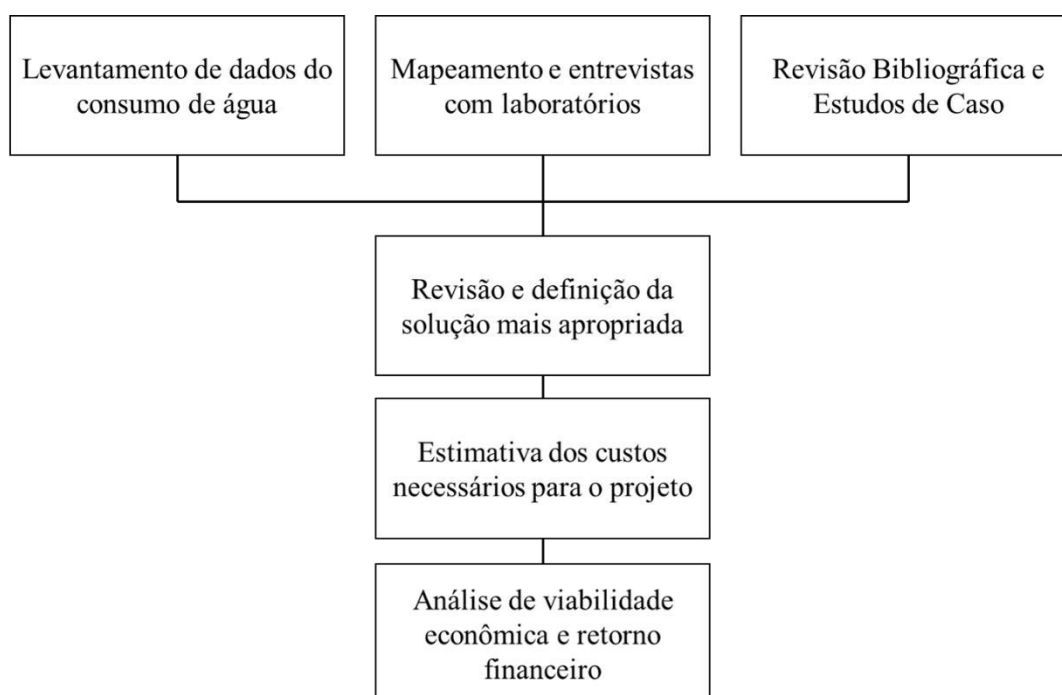
possível criar uma estrutura que abrange diversos laboratórios e realizar futuras ampliações. Já para o caso de projetos menores, que envolvem apenas um destilador, existe a possibilidade de armazenamento da água para uso posterior, ou alteração do próprio processo de destilação para reaproveitar a água descartada. A primeira opção é mais viável para laboratórios que possuem espaço para armazenamento e que não produza um grande volume de água destilada, uma vez que seria necessário um tanque muito grande para armazenar todo o volume descartado. Já a segunda opção é a mais adequada em situações nas quais há pouco espaço de armazenamento, ou que o destilador é bastante utilizado, pois nesse caso a água descartada é reinserida no processo sem gerar grandes volumes de armazenamento. Portanto, antes que a melhor alternativa de projeto seja definida, é necessário considerar três principais aspectos: escala do projeto, orçamento disponível e impacto de obras de infraestrutura.



### 3. Metodologia

Para atingir os objetivos do presente trabalho, que foram detalhados anteriormente na seção 1.2, foi utilizada uma metodologia de teor exploratório e analítico que possibilitou buscar melhorar a questão do desperdício de água nos laboratórios da EQ desde a compreensão do problema até a proposta de uma solução e seus retornos esperados. A figura 7 a seguir explicita todas as etapas seguidas pelos autores durante o trabalho.

Figura 7: Esquema das etapas realizadas durante o trabalho



Fonte: Elaboração Própria, 2022

Através das seis etapas expostas acima, foi possível entender a realidade da Escola de Química e do Centro de Tecnologia em relação ao consumo e ao desperdício de água nos laboratórios, além de conhecer alternativas que já tinham sido empregadas para mitigar esse problema e, analisando a realidade da EQ junto aos funcionários e professores, escolher e adaptar a melhor solução para a Escola.

#### 3.1 Levantamento de dados do consumo de água, mapeamento e entrevistas com laboratórios e Estudo de Caso

Inicialmente, foram necessárias duas etapas preliminares de pesquisa, levantamento de dados do consumo de água e entrevistas com os representantes dos laboratórios. Através delas,

buscou-se entender a realidade do Centro de Tecnologia (CT) e, mais especificamente, da Escola de Química/UFRJ (EQ), em relação ao abastecimento, consumo e desperdício de água, com enfoque em seus laboratórios.

Foram levantados dados sobre o consumo de água no CT advindo do abastecimento urbano por parte da CEDAE (atualmente Águas do Rio). Foi contatado o Escritório de Planejamento do Centro de Tecnologia (EPlan CT), responsável pela infraestrutura do CT, além de planejamento e execução de projetos de Arquitetura, Engenharia Civil e Elétrica no prédio e fiscalização obras e vistorias nas instalações. Foi concedido o acesso às contas de água referentes ao consumo do CT e um diagrama que detalhava o sistema de abastecimento de água no prédio, incluindo tubulações, válvulas e bombas. Devido ao cenário de aulas remotas e redução das atividades de pesquisa durante a pandemia causada pela pandemia da COVID-19 nos anos de 2020 e 2021, foram considerados dados desde 2018, a fim de incluir uma realidade de funcionamento “regular” da universidade (situação pré-pandemia).

Buscando compreender de forma mais aprofundada a realidade dos laboratórios e estimar o volume de água desperdiçado, foi realizado um levantamento de todos os laboratórios da EQ em busca de obter dados como estimativas mensais de consumo de água, equipamentos responsáveis pelo desperdício de água e se já havia iniciativas em curso para mitigar esse desperdício no próprio laboratório

Para isso, inicialmente foi realizado um levantamento no *website* da Escola, onde estão listados todos os laboratórios da instituição e os seus respectivos responsáveis. Além disso, foram consultados professores da Escola de Química que auxiliaram no mapeamento de laboratórios que não constavam na listagem do *website*. Foram incluídos laboratórios de ensino, pesquisa e de atividades externas, como laboratórios que realizam análises para empresas. Enviou-se então *e-mails* para os responsáveis por cada laboratório. Neles, foi explicado o projeto, como estava relacionado ao PLS sendo desenvolvido e feito o convite para compartilhar informações relativas ao consumo e desperdício de água, além de sugerir uma posterior conversa.

Foram realizadas, então, visitas e entrevistas entre janeiro e abril de 2021, presenciais e virtuais, com os responsáveis, funcionários e técnicos dos laboratórios, que detalharam as atividades realizadas nos mesmos e compartilharam dados sobre consumo e descarte de água.

Para o funcionamento da maioria dos laboratórios da Escola de Química, é necessário o consumo de uma elevada quantidade de água. Uma parte dessa água é usada para lavagem de equipamentos e vidrarias, resultando na sua contaminação por reagentes e solventes, além dos detergentes utilizados na lavagem. Entretanto, como será descrito no capítulo “4. Resultados e

Discussão”, grande parte da água consumida em laboratórios é utilizada para processos de troca de calor ou de produção de água destilada, uma água purificada com menos sais dissolvidos, e, por isso, não sofre contaminações, nem tem suas características físico-químicas alteradas de forma significativa no que tange à sua posterior usabilidade. Dessa forma, nesse levantamento foi contemplado apenas o consumo e descarte de água proveniente desses processos, já que um possível reaproveitamento da mesma não demandaria uma etapa adicional de tratamento e purificação. Além disso, a quantidade de água para limpeza de equipamentos e vidrarias torna-se mais difícil de ser mensurada ou estimada, já que a mesma é descartada diretamente na rede de esgoto.

O objetivo dessas visitas foi, então, identificar os principais equipamentos que descartavam água sem afetar sua qualidade e usabilidade, além de mensurar o volume de água reaproveitável que era descartada durante o seu funcionamento. Para isso, foi necessário realizar uma estimativa do consumo de água desses equipamentos. Durante as entrevistas com os representantes dos laboratórios foi estimada a média mensal de utilização de cada um dos equipamentos presentes, levando em consideração todas as atividades realizadas nos laboratórios, acadêmicas ou não, e a sua periodicidade. Sabe-se que o funcionamento dos laboratórios foi reduzido durante os anos de 2020 e 2021 devido à pandemia causada pela COVID-19. Por isso, pediu-se que fosse considerado um cenário pré-pandemia para a realização das estimativas, considerando um funcionamento “regular”.

A fim de obter-se a quantidade de água descartada e, dessa forma, o potencial de água a ser reaproveitada, foi medida a quantidade de água necessária para a utilização dos equipamentos por hora. No caso dos destiladores, que, como será discutido no próximo capítulo, é principal foco de desperdício nos laboratórios, o critério analisado foi sua eficiência, ou seja, a quantidade de água de resfriamento necessária para produzir 1 L de água destilada. Sabe-se que existem destiladores de marcas e modelos diversos que apresentam diferentes eficiências, mas, para fins de simplificação e, como devido ao cenário de pandemia no qual o trabalho foi desenvolvido as visitas presenciais para realização de medições foi limitada, estabeleceu-se uma eficiência média a ser utilizada para o cálculo do volume hídrico com potencial de reaproveitamento. Essa média foi definida a partir do projeto realizado pela equipe do EQ Hands-On, mencionado anteriormente neste trabalho, que chegou a uma eficiência de 40 L de água por litro de água destilada. Além disso, esse número foi comparado e confirmado pela literatura científica, que apresentou eficiências entre e 21 e 60 L de água para cada litro de água destilada produzida (APPELT et al., 2008; AZEVEDO et al., 2016; SILVA, 2014), também já mencionado anteriormente neste trabalho.

Sabe-se que durante esse levantamento foram realizadas diversas estimativas e aproximações no intuito de chegar-se a um número médio para o volume de água descartada. Alguns fatores diretamente relacionados ao consumo e desperdício de água não puderam ser considerados, como, por exemplo, atividades pontuais realizadas em alguns laboratórios, uma possível variação no número de funcionários e alunos realizando experimentos, compra de novos equipamentos e modelos mais eficientes ou a descontinuação do uso de alguns equipamentos. Entretanto, acredita-se que o número estimado através desse levantamento aproxima-se suficientemente da realidade para fins do presente estudo.

Durante o capítulo 2 “Revisão Bibliográfica e Estudos de Caso” foi descrita uma pesquisa realizada na busca de projetos já implementados em outras instituições a fim de mapear as possíveis soluções para reduzir os desperdícios nos laboratórios na EQ. Foram realizadas também conversas com diversos professores e alunos da UFRJ, de dentro e de fora da Escola de Química, em busca de projetos já implementados dentro da própria Universidade. As diversas soluções mapeadas foram subdivididas e agrupadas de acordo com a natureza da intervenção proposta a fim de simplificar as possibilidades no momento de escolha.

### **3.2 Revisão e definição da solução mais apropriada**

Uma vez já obtidas e compiladas as informações dos laboratórios, foram revisitadas as soluções que haviam sido mapeadas durante os Estudos de Caso, tendo em mente a realidade, agora conhecida dos laboratórios da EQ em relação ao consumo e desperdício de água. Com isso, foi possível realizar uma análise embasada nos pontos positivos e negativos de cada solução e, por fim, definir a solução mais adequada para a Escola.

Após essas considerações e tendo em vista todos os pontos abordados nas etapas anteriores, definiu-se que a alternativa de reaproveitamento que faria mais sentido nesse cenário seria a de implementação de um armazenamento central da água descartada dos equipamentos, uma vez que se trata de um caso que abrange grandes volumes e vários laboratórios diferentes. As ponderações e comparações realizadas durante essa definição serão melhor abordadas durante a apresentação dos resultados e discussões. Os pontos que levaram à definição de solução mais apropriada também podem ser revisados no Quadro 2 abaixo:

Quadro 2: Pontos considerados para a definição da solução mais apropriada

<b>Condição Característica da Escola de Química</b>
Alto consumo de água
Número significativo de equipamentos/laboratórios
Modelos de equipamento diferentes
Possível expansão futura de equipamentos abrangidos no projeto
Possibilidade de obras de infraestrutura

Fonte: Elaboração Própria, 2022

Como também será abordado posteriormente, durante a pesquisa inicial sobre a estrutura hidráulica do Centro de Tecnologia foi verificado que a água utilizada pela Escola de Química vem de uma caixa d'água central do CT, ou seja, não existe uma caixa d'água específica para cada unidade do prédio. Dessa forma, como o presente trabalho busca um impacto local mais significativo na EQ, foi proposto que a água recuperada dos laboratórios fosse destinada ao abastecimento dos banheiros do Diretório Acadêmico da Escola de Química (DAEQ).

Dessa forma, o projeto buscaria recolher toda a água descartada pelos destiladores dos laboratórios em uma caixa d'água intermediária a ser implementada, que seria utilizada para abastecer os dois banheiros do Diretório Acadêmico, e o volume excedente, caso exista, seria direcionado ao sistema de abastecimento central do Centro de Tecnologia, visto que a Escola de Química não possui um abastecimento separado.

Como não existem dados disponíveis do consumo exclusivo dos banheiros do DAEQ, foi necessário realizar uma estimativa a partir dos dados disponíveis. O método utilizado nessa estimativa será descrito a seguir.

Foram identificados três principais períodos de utilização dos banheiros: Nos intervalos entre as aulas (Período 1), durante as aulas (Período 2) e no intervalo de almoço (Período 3). Para cada um desses períodos foram definidas premissas de utilização dos banheiros, como frequência de uso, tempo gasto e quantidade de utilizações. A partir dessas premissas, foram realizadas estimativas a fim de obter-se um número aproximado do volume de água gasto mensalmente pelos banheiros.

Para os intervalos entre as aulas, foram considerados três momentos distintos: entre as aulas que terminam às 10h, às 15h e às 17h. Considerando que algumas aulas acabam mais cedo ou iniciam mais tarde do que o previsto, foi definido um intervalo médio de 20 minutos, durante o qual foi considerado que os banheiros são utilizados ininterruptamente de acordo com o movimento observado durante período regular de aulas presenciais. Como não foi encontrado na literatura uma média de tempo de utilização de banheiros públicos, admitiu-se

também que uma pessoa utiliza o banheiro durante 2 minutos em média. Foi definida a equação abaixo para essa estimativa e obteve-se como resultado 60 utilizações/dia.

$$\text{Utilizações Período 1} = (A \div B) * C * D$$

*A: Intervalo de utilização (minutos/intervalo)*

*B: Média de utilização do banheiro (minutos/uso\*banheiro)*

*C: Número de Banheiros (banheiros)*

*D: Número de intervalos (intervalos/dia)*

$$\text{Utilizações Período 1} = (20 \div 2) * 2 * 3 = 60 \text{ utilizações/dia}$$

O segundo período considerado é o intervalo do almoço, entre 12h e 13h. Durante esses 60 minutos, também foi considerado que os banheiros são utilizados ininterruptamente e a tempo médio de utilização foi também de 2 minutos. Nesse caso o número de intervalos é um. A equação utilizada para o cálculo foi a mesma utilizada para o primeiro período e chega-se também à quantidade aproximada final de 60 utilizações/dia, como mostrado abaixo:

$$\text{Utilizações Período 2} = (60 \div 2) * 2 * 1 = 60 \text{ utilizações/dia}$$

Por fim, foi estimada a utilização dos banheiros durante as aulas. Sabendo que a Escola de Química é composta por dois andares e que o DAEQ está localizado no primeiro, considerou-se o número de pessoas que assistem a aulas simultaneamente nas salas do 1º andar da Escola de Química. Segundo a Diretoria de Gestão e Governança da Escola em janeiro de 2022, existem aproximadamente 1.000 alunos de graduação na EQ, entretanto, considerou-se que os alunos vão à Universidade quatro vezes por semana em média. Dado o número de salas de aulas nos dois andares do Bloco E, foi considerado que 40% das pessoas assistem aulas no 1º andar e, por isso, utilizariam o banheiro do DAEQ, já os alunos que assistem aula no 2º utilizam os banheiros localizados no próprio andar. Por fim, assumiu-se que durante uma aula, 10% dos alunos precisem ir ao banheiro e que um aluno assiste, em média, duas aulas por dia. Para essa estimativa foi utilizado o sistema de equações abaixo, que teve como solução o número de 64 utilizações/dia.

$$\text{Alunos na EQ em um dia} = (E \div F) * G$$

$$\text{Alunos 1º Andar} = \text{Alunos na EQ em um dia} * H$$

$$\text{Utilizações Período 3} = \text{Alunos 1º Andar} * I * J$$

*E: Número de alunos da Graduação na EQ (alunos)*

*F: Dias úteis em uma semana (dias)*

*G: Média de dias que o aluno vai à EQ (dias)*

*H: Proporção de salas no 1º andar da EQ*

*I: Proporção de alunos que vão ao banheiro durante a aula*

*J: Média de utilização do banheiro (minutos/aluno)*

$$\text{Alunos na EQ em um dia} = (1000 \div 5) * 4 = 800 \text{ alunos}$$

$$\text{Alunos 1º Andar} = 800 * 40\% = 320 \text{ alunos}$$

$$\text{Utilizações Período 3} = 320 * 10\% * 2 = 64 \text{ utilizações/dia}$$

A partir dessas estimativas foi obtido o número total de utilizações dos banheiros e adotada uma média de consumo de água a cada utilização do banheiro para chegar a uma estimativa final de consumo mensal de água nos banheiros do DAEQ. Segundo as fabricantes Deca e Celite, um acionamento de um vaso sanitário tradicional, com válvula de descarga na parede, utiliza 18 L de água em média (Blog Celite, 2017), enquanto 20 segundos de utilização de uma torneira utilizam 0,8 L de água (Blog Deca, 2017). Dessa forma, como mostrado a seguir, partindo da estimativa de 184 utilizações por dia, ou 3.680 utilizações por mês, considerando 20 dias úteis em um mês, os dois banheiros do DAEQ utilizam 69.184 L de água por mês, ou aproximadamente 70 m<sup>3</sup>.

$$\text{Utilizações Totais} = \text{Utilizações Período 1} + \text{Utilizações Período 2} + \text{Utilizações Período 3}$$

$$\text{Volume gasto banheiros DAEQ} = \text{Utilizações Totais} * (K + L) * M$$

*K: Volume gasto para acionamento de um vaso sanitário (L)*

*L: Volume gasto para lavagem de mãos (L)*

*M: Média de dias úteis em um mês (dias)*

$$\text{Utilizações Totais} = 60 + 60 + 64 = 184 \text{ utilizações/dia}$$

$$\text{Volume gasto banheiros DAEQ} = 184 * (18 + 0,8) * 20 = 69.184 \text{ L}$$

### 3.3 Estimativa dos custos necessários para o projeto

Definida essa solução e realizada a estimativa de consumo dos banheiros da DAEQ, foram utilizados os dados levantados durante a etapa de Estudos de Caso, incluindo orçamentos de mão de obra e materiais dos projetos já implementados, para estimar qual seria o custo aproximado do projeto se realizado para os laboratórios da EQ. Para essa estimativa, foi levado em conta as especificidades do projeto utilizado como referência, que também foi implementado para um prédio da UFRJ, o CCS, assim como as especificidades da Escola de Química.

Como o objetivo do trabalho não é precisar o valor exato da implementação do projeto, mas sim analisar a sua viabilidade e prever seu retorno financeiro, não foi realizada uma precificação detalhada do projeto, mas uma estimativa dos custos envolvidos.

A principal fonte de informação utilizada foi uma planilha na qual consta o detalhamento de todos os gastos orçados para o projeto do CCS, utilizando um valor médio baseado em uma licitação pública que envolveu três empresas. Neste arquivo, estavam detalhados todos os custos do projeto, separados em seis grandes grupos, sendo eles: Serviços Gerais (Mão-de-obra); Montagem de 30 Unidades Autônomas de Captação e Bombeamento (UACB); Instalação de 30 UACB em 30 laboratórios do CCS; Montagem do quadro elétrico de comando e instalação de bombas centrífugas; Reservatórios externos e Instalação dos reservatórios externos e da malha de canos de interligação com as UACB contemplando mão de obra e materiais.

A partir dos valores presentes nesse detalhamento, foi possível estimar o gasto com o projeto proposto neste trabalho. A principal questão em relação a essa estimativa vem do fato de que o projeto do CCS foi implementado para 30 laboratórios. No presente estudo, não foi definido *a priori* o número de laboratórios da EQ contemplados. Diante disso, tornou-se necessário definir uma relação entre o orçamento final do projeto com o número de laboratórios a participarem do projeto. Também se faz necessário definir quais laboratórios deveriam ser incluídos no projeto a fim de aumentar sua viabilidade e o retorno. Essas decisões impactam no custo do projeto, sendo este variável com a quantidade e quais laboratórios são contemplados, dado que o volume de água recuperada varia entre eles.

Abaixo será detalhado cada grupo de custo que consta no orçamento do projeto do CCS e a forma através da qual entendeu-se que seus valores orçados variavam de acordo com o número de laboratórios. Em alguns casos foi considerado que os gastos variam diretamente com o número de laboratórios, em outros de acordo com o volume de água recuperada e, ainda,



alguns que foram considerados como constantes independente no número de laboratórios. O Quadro 3 lista os seis grupos de custos em questão.

Quadro 3: Descrição dos custos do Projeto CCS com mão de obra

<b>Grupo de Custos</b>
Serviços Gerais (Mão-de-obra)
Montagem de 30 Unidades Autônomas de Captação e Bombeamento (UACB)
Instalação de 30 UACB em 30 laboratórios do CCS
Montagem do quadro elétrico de comando e instalação de bombas centrífugas
Reservatórios externos
Instalação dos reservatórios externos e da malha de canos de interligação com as UACB

Fonte: Elaboração Própria, 2022

Aqui vale pontuar uma premissa utilizada para a estimativa em questão: Entendeu-se que, apesar dos laboratórios estarem localizados em diferentes locais da Escola de Química, o custo para a inclusão de um laboratório específico não irá variar com a sua localização. Foi adotada essa premissa já que as ordens de grandeza das distâncias dos laboratórios são próximas e que a inclusão da variável geográfica de cada um deles implicaria em um aumento significativo em complexidade desnecessário para o trabalho em questão. A título de verificação da validade da premissa apresentada, foi feita a medição da distância entre o laboratório mais distante e o ponto estipulado para armazenamento, que é de aproximadamente 95 metros.

O primeiro grande grupo de custos foi o de mão de obra. Neste foram incluídas todas as forças de trabalho necessárias para a execução do projeto, tanto operacionais e técnicas, quanto de planejamento e compras. Para este grupo, o valor foi calculado em relação à quantidade de meses trabalhados, ou seja, quanto tempo os trabalhadores dedicaram ao projeto. Foi assumido que o tempo dedicado ao projeto era proporcional ao número de laboratórios incluídos no escopo do mesmo e, por isso, os gastos com esse grupo foram adaptados proporcionalmente em relação ao número de laboratórios. Neste caso, se hipoteticamente o novo projeto contasse com 10 laboratórios, o custo com esse grupo seria 1/3 do valor do mesmo no projeto do CCS, já que ele conta com 1/3 do número de laboratórios do projeto inicial.

Para os custos com os materiais necessários para a montagem das Unidades Autônomas de Captação e Bombeamento (UACB), considerou-se a compra de equipamentos como os reservatórios para o armazenamento da água recuperada em cada laboratório, as boias responsáveis por acompanhar o nível de água nestes reservatórios e as bombas que bombeiam

a água recuperada nas UACBs para o reservatório central, além de todos os outros materiais como tubos, canos e metais. Para este caso, entendeu-se também que o custo era diretamente proporcional ao número de laboratórios, já que foi construída uma UACB para cada um envolvido no projeto.

Para o terceiro grupo, foram considerados os materiais necessários para a instalação das UACBs, uma vez já montadas, no sistema de tubulações responsável por conectá-las ao reservatório central. Seguindo a mesma premissa utilizada para o grupo anterior, os custos em questão também foram considerados como proporcionais à quantidade de laboratórios incluídos na solução proposta.

A fim de controlar o funcionamento de todo o sistema de coleta e recuperação de água, é necessária a instalação de um quadro elétrico de comando. Neste caso, sabe-se que o custo desse quadro de comando varia com o número de laboratórios, mas, para a presente estimativa, utilizou-se o mesmo valor como um custo máximo, já que o projeto do CCS contava com um número maior de laboratórios. Além dos quadros elétricos, esse grupo também inclui os gastos com as bombas centrífugas, responsáveis por bombear a água do reservatório central de volta ao sistema de abastecimento de água do prédio. Devido às incertezas em relação à localização dos equipamentos que seriam instaladas, um dimensionamento preciso não pode ser realizado neste estudo. Entretanto, a fim de que pudesse ser feita uma estimativa, foi mantida a mesma especificação do equipamento do projeto realizado no CCS, de forma a garantir uma abordagem conservadora. Dessa forma, não foram realizados cálculos proporcionais para esse grupo e os custos originais foram mantidos.

Em relação aos custos com os reservatórios externos de água, considerou-se que as suas capacidades variam de acordo com o volume de água recuperado. Ou seja, dependendo da quantidade de laboratórios incluídos no projeto e conseqüentemente a quantidade de água recuperada, será necessário um tamanho de reservatório diferente.

Por fim, o último grupo de custos do projeto foi referente a instalação dos reservatórios externos e da malha de interligação deles com as UACBs de cada laboratório. Compreendeu-se que os gastos com a malha são diretamente proporcionais ao número de laboratórios já que, quanto mais laboratórios incluídos no escopo, maior deveria ser a malha e, portanto, mais tubulação seria necessária. Aqui vale a observação de que levou-se em consideração que a grande maioria destes gastos foi com a instalação da malha e desconsiderou-se o fato de que a instalação dos reservatórios externos não varia de forma perfeitamente proporcional com o número de laboratórios.

Dessa forma, seguindo as premissas descritas no tópico anterior, torna-se possível prever o custo estimado do projeto proposto para a EQ baseando-se nos valores mapeados para o projeto do CCS. Para os casos em que os custos foram considerados proporcionais ao número de laboratórios e as especificações dos equipamentos não foram alteradas, aplicou-se, além da proporcionalidade em relação ao número de laboratórios, uma correção monetária a fim de trazer os valores levantados em 2015 para a realidade de 2022. A fim de realizar essa correção, foi utilizado o Índice Nacional de Custos de Construção (INCC), criado pelo Instituto Brasileiro de Economia (FGV IBRE), que monitora a evolução dos preços de materiais, serviços e mão-de-obra destinados à construção civil no Brasil. Para esse período, o INCC foi de 58,01%. Para os casos nos quais os valores não foram ajustados em função do número de laboratórios, aplicou-se apenas o INCC. Por fim, para os casos em que houve alteração na especificação de equipamentos, como foi o caso dos reservatórios externos de água, dependendo do volume recuperado sendo considerado foram precificados volumes de reservatórios diferentes, seguindo a necessidade de abastecimento proposta para o DAEQ.

### **3.4 Análise de viabilidade econômica e retorno financeiro**

Em posse do orçamento estimado para a realização do projeto, foi possível realizar uma análise econômica, considerando a economia financeira proporcionada pela diminuição do desperdício de água. Além disso, foi possível também a estimativa do retorno financeiro da solução proposta levando em conta o valor pago todos os meses para o fornecimento de água ao prédio. Para isso, foram quantificadas as economias advindas da implementação desta solução em cada laboratório e, então, a definição de cenários em relação ao número de laboratórios incluídos e a perspectiva de retorno de cada um deles a fim de identificar o escopo com o melhor “custo/benefício”.

Tendo os gastos em função da quantidade de laboratórios (ou destiladores) abordados, é possível interpolar os custos para obter uma estimativa de valores para a quantidade de destiladores desejada para o projeto na Escola de Química. Dessa forma, é possível entender os custos e comparar com o volume de água recuperado em cada caso, para verificar qual seria a configuração de projeto mais interessante do ponto de vista econômico.

Logo, para definir quais laboratórios dentre os mapeados serão incluídos no planejamento do projeto, é importante analisar o potencial volume a ser reaproveitado em cada laboratório, visto que pequenas quantidades de água descartada talvez não compensem o investimento na infraestrutura necessária. Como será mostrado no capítulo de “Resultados e Discussão”, foi

definido que apenas os destiladores seriam contemplados e, por isso, o volume descartado por outros equipamentos não foi considerado. Considerando-se então apenas o volume de água proveniente de destiladores, os laboratórios foram ranqueados de forma decrescente e foram simulados diferentes cenários para o orçamento final, variando-se a quantidade de laboratórios contemplados.

Como mencionado anteriormente, os custos foram obtidos baseados no projeto CCS e variando os mesmos proporcionalmente de acordo com a quantidade de destiladores, porém mantendo fixo o custo de instalações elétricas e bombas, e modificando o valor de reservatórios de água de acordo com o volume correspondente a cada caso. O volume de reservatório foi calculado baseando-se no volume recuperado semanal e o gasto, também semanal, dos banheiros do DAEQ, que foi estimado como já descrito anteriormente. O excedente de água recuperada seria retornado para o sistema central de abastecimento do Centro de Tecnologia, uma vez que não existe um abastecimento separado para a Escola de Química. Como já mencionado, uma caixa d'água intermediária para o abastecimento dos banheiros do DAEQ, apesar de não essencial para o projeto, foi idealizada para garantir um impacto local na EQ.

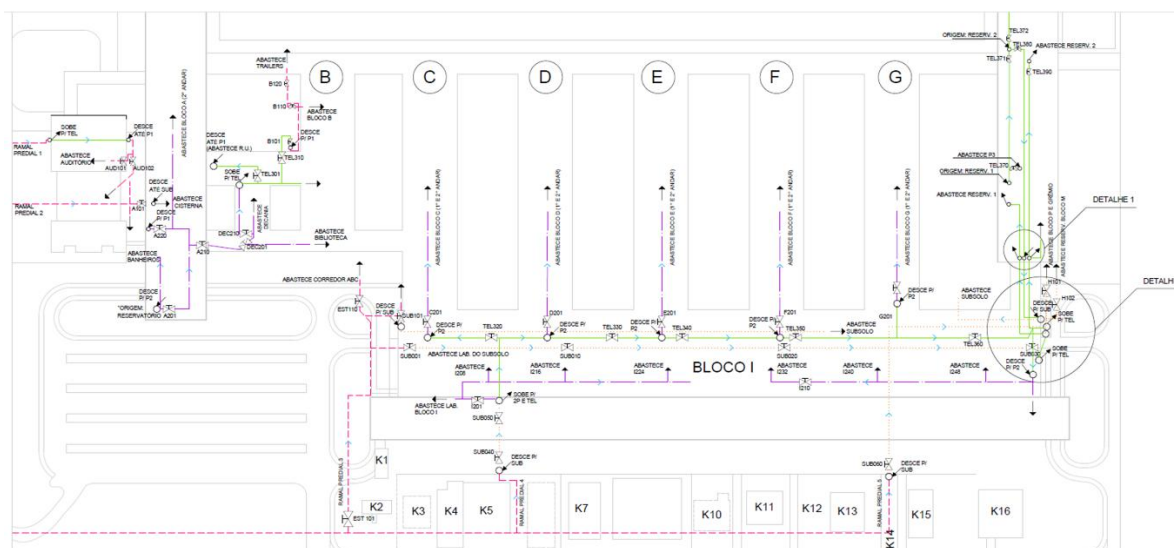
Por fim, tendo os possíveis cenários mapeados, o próximo passo foi calcular a economia mensal relacionada ao volume de água recuperado, para que seja possível calcular o tempo de *payback* do valor de projeto investido. Com isso, obteve-se os valores de economia mensal, que por sua vez, foram comparados com o custo de implementação, obtendo os resultados de retorno (ou *payback*). O retorno em meses foi obtido pela divisão do custo de implementação pela economia mensal e o respectivo em anos, dividindo este valor por 12 meses.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Consumo e desperdício nos laboratórios da EQ

Durante a etapa de levantamento de dados de consumo de água, foram analisadas diversas informações relativas ao consumo e abastecimento de água no Centro de Tecnologia. Inicialmente foi analisado o diagrama de abastecimento de água do prédio, mostrado na Figura 8. Através da sua observação e de conversas com funcionários do EPlan (Escritório de Planejamento do CT), descobriu-se que não havia uma caixa d'água exclusiva para o abastecimento da Escola de Química. Ou seja, toda a água utilizada pela Escola vem diretamente do abastecimento do CT.

Figura 8: Diagrama de abastecimento hídrico no prédio do Centro de Tecnologia

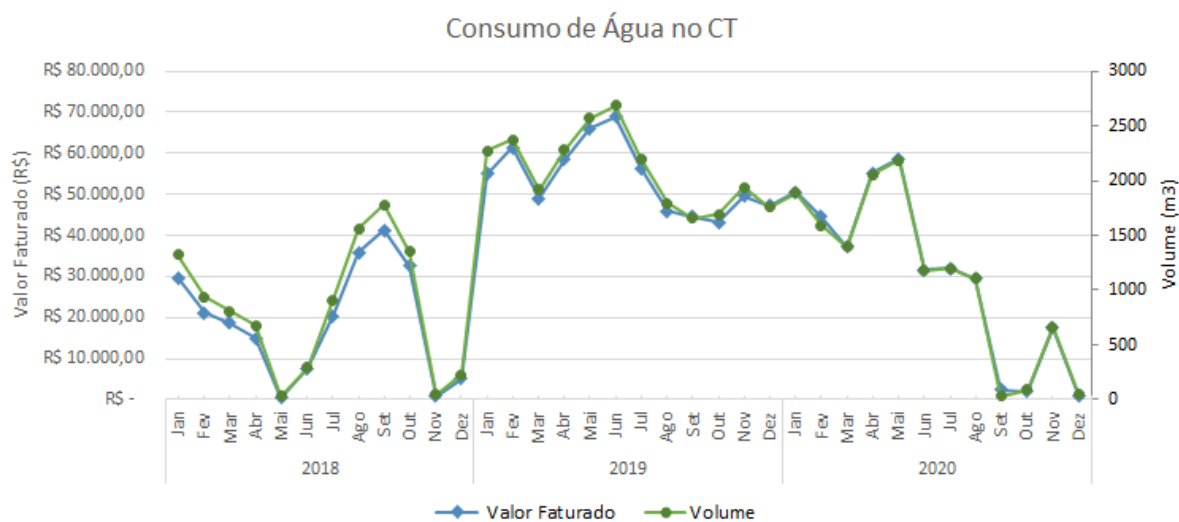


Fonte: Escritório de Planejamento do CT, 2021

Os valores de consumo de água em  $m^3$  obtidos das contas de água mensais do CT podem ser vistos no gráfico a seguir. Foram consumidos 9.945,40  $m^3$  de água em 2018, 25.161,10  $m^3$  em 2019 e 13.434,20  $m^3$  em 2020, resultando em um gasto de R\$ 228.638,50, R\$ 645.742,81 e R\$ 361.911,58 para a universidade nesses anos, respectivamente. Como já comentado, durante os anos de 2020 e 2021 a pandemia causada pela COVID-19 levou a redução das atividades na Universidade e, por isso, foram considerados dados desde 2018. Na figura 9, pode-se observar um padrão de consumo ao longo do ano, sendo ele mais alto no início do ano e apresentando tendência de queda no final. Apesar disso, principalmente no ano de 2018, alguns meses fogem do padrão e apresentam valores muito baixos, parecendo não refletir o

consumo real do CT. Acredita-se que este fato pode corresponder a débitos que foram acumulados para contas seguintes.

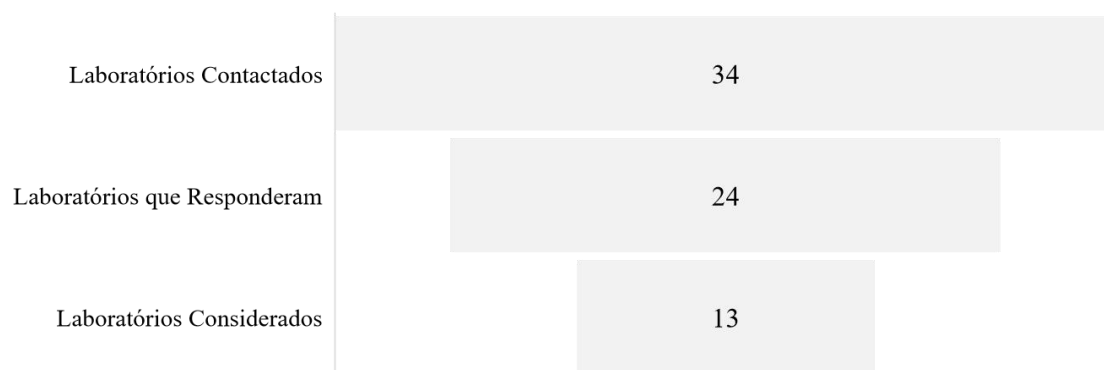
Figura 9: Consumo de Água no Centro de Tecnologia em Volume e em Valor



Fonte: Elaboração Própria, 2021

Para a etapa de levantamento de informações sobre os laboratórios, inicialmente foi realizado um trabalho de mapeamento dos laboratórios presentes na Escola. Neste momento foram mapeados 34 laboratórios. Após a tentativa de contato com seus responsáveis, não foi obtida resposta aos nossos e-mails dos responsáveis por 10 laboratórios, mesmo após repetidas tentativas. Por esse motivo, esses laboratórios não foram contemplados no estudo. Aos que responderam, como já explicado anteriormente, foram realizadas visitas e entrevistas que forneceram informações sobre as atividades realizadas nos mesmos e possibilitaram o compartilhamento de dados sobre consumo e descarte de água. Desses 24 considerados, 11 laboratórios não apresentaram o perfil de descarte mencionado anteriormente e, por isso, foram considerados dados dos 13 laboratórios remanescentes. Esse processo pode ser visto na Figura 10 a seguir.

Figura 10: Número de laboratórios durante cada etapa do levantamento de informações



Fonte: Elaboração Própria, 2021

Dos 13 laboratórios restantes, as principais informações quantitativas colhidas durante as visitas e entrevistas com seus responsáveis foram os equipamentos presentes no laboratório que apresentavam um desperdício de água considerável e um volume estimado de água descartada por eles a cada mês. As premissas utilizadas durante essas estimativas estão descritas no capítulo de metodologia e os dados obtidos durante essa etapa podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Equipamentos e respectivos volumes de água descartada mapeados na Escola de Química

Laboratório	Quantidade	Vol. (m <sup>3</sup> /mês)
<b>LTA - Laboratório de Tecnologia Ambiental</b>	<b>9</b>	<b>38,95</b>
<i>Destilador</i>	1	37,89
<i>Condensador</i>	8	1,06
<b>Ladeq e Multidisciplinar</b>	<b>1</b>	<b>16,00</b>
<i>Destilador</i>	1	16,00
<b>GreenTech</b>	<b>1</b>	<b>16,00</b>
<i>Destilador</i>	1	16,00
<b>Laboratório de Corrosão</b>	<b>1</b>	<b>15,00</b>
<i>Destilador</i>	1	15,00
<b>Laboratórios Graduação DPI</b>	<b>1</b>	<b>15,00</b>
<i>Destilador</i>	1	15,00
<b>LabTare</b>	<b>1</b>	<b>10,90</b>
<i>Destilador</i>	1	10,90
<b>LABCOM</b>	<b>7</b>	<b>10,14</b>
<i>Destilador</i>	1	6,82
<i>Condensador</i>	3	2,88
<i>TAG</i>	1	0,04
<i>Máquina de Gelo</i>	2	0,40
<b>BIOSE</b>	<b>1</b>	<b>4,80</b>
<i>Destilador</i>	1	4,80

<b>Laboratório de Tecnologia de Alimentos</b>	<b>9</b>	<b>0,82</b>
<i>Destilador de Proteínas</i>	1	0,68
<i>Rotaevaporador</i>	1	0,08
<i>Condensador</i>	5	0,07
<b>LabTech</b>	<b>2</b>	<b>0,44</b>
<i>Destilador</i>	1	0,40
<i>Rotaevaporador</i>	1	0,04
<b>Laboratório de Processamento de Matérias Primas Vegetais</b>	<b>1</b>	<b>0,20</b>
<i>Rotaevaporador</i>	1	0,20
<b>LTPN - Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais</b>	<b>1</b>	<b>0,10</b>
<i>Condensador</i>	1	0,10
<b>LABCOM - Espaço Isaac</b>	<b>1</b>	<b>0,04</b>
<i>Desumidificador</i>	1	0,04
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>128,4</b>

Fonte: Elaboração Própria, 2021

A partir dos dados obtidos com esta etapa, conclui-se que existe um volume considerável de água limpa que é diariamente rejeitada pelos equipamentos dos laboratórios da EQ e que não é reaproveitado. Além disso, após todas as entrevistas realizadas com os responsáveis pelos laboratórios, entende-se que os laboratórios não têm meios para realizar esse aproveitamento e, por esse motivo, essa água é destinada diretamente à rede de esgoto.

## 4.2 Identificação da metodologia para reuso

Para definir uma solução adequada para evitar esse desperdício e diante da realidade atual dos laboratórios da EQ descrita no início deste capítulo, primeiramente foi necessário avaliar os pontos positivos e negativos de cada uma das três alternativas de reutilização de água discutidas na etapa de Estudo de Casos, como mostrado nos próximos três parágrafos.

Como primeira alternativa de recuperação da água descartada, foi abordada a possibilidade de armazenamento em um sistema centralizado, para posterior direcionamento para as tubulações do edifício em questão. A principal vantagem dessa alternativa é que independe das especificações dos destiladores, e não precisa ser adaptada para cada aparelho sendo considerado para o reaproveitamento de água. Isso significa que, caso posteriormente se deseje adicionar mais equipamentos à rede de recuperação de água, ou retirar algum, o sistema permanece válido, sendo necessário apenas adicionar tubulações que direcionem esse volume para o armazenamento central, ou em casos extremos de aumento de volume, considerar a troca do recipiente de armazenamento para uma capacidade volumétrica maior. Por outro lado, essa alternativa possui o maior custo inicial agregado, visto que implica em uma série de



modificações no edifício para acrescentar tubulações e um sistema de armazenamento central. Logo, é uma alternativa que faz sentido apenas quando se trata de volumes altos de recuperação, para que seja possível obter o retorno do gasto inicial em um tempo razoável.

A segunda proposta mencionada foi a intervenção no próprio sistema de destilação para que a água seja imediatamente realimentada ao processo. Essa é uma proposta interessante para uma iniciativa a ser aplicada em laboratórios que não possuem espaço para armazenamento interno, já que, nesse sistema, não há nenhum volume de água descartada acumulado. Além disso, essa é uma alternativa que é interessante de ser planejada para um único laboratório, onde apenas um aparelho será estudado. Isso se deve ao fato de que, para realimentar a água de descarte ao processo, é necessário resfriá-la para evitar que o equipamento atinja a sua temperatura limite e interrompa o seu funcionamento, e dependendo das especificações do equipamento quanto à sua operação, uma única proposta de resfriamento pode não ser replicável para modelos distintos. Logo, ao estudar uma intervenção de reaproveitamento de água para um laboratório com mais de um destilador, ou então para vários laboratórios, essa proposta pode não ser viável. Outro ponto a ser considerado é que, se o equipamento for utilizado com muita frequência para produção de grandes volumes de água destilada, essa alternativa tampouco é interessante, visto que dificulta o processo de resfriamento da água de descarte com eficácia para que possa ser rapidamente realimentada.

Por fim, a última alternativa discutida aborda o armazenamento da água descartada em cada laboratório individualmente. Do ponto de vista de baixa complexidade e custo, pode-se afirmar que esta seria a melhor alternativa, visto que consiste apenas em direcionar a água de descarte para um recipiente de armazenamento para posterior uso. Essa pode ser uma escolha interessante para laboratórios que dispõem de espaço para armazenamento da água e cenários de baixo uso do destilador, não sendo necessário grandes tanques de armazenamento. Por outro lado, é uma intervenção pontual de baixo impacto, visto que visa apenas reaproveitar baixos volumes dentro do próprio laboratório.

Tendo em vista todos os pontos abordados, e o levantamento de volume de água a ser reaproveitada na Escola de Química, definiu-se que a alternativa de reaproveitamento que faria mais sentido nesse cenário seria a de implementação de um armazenamento central da água descartada dos equipamentos, uma vez que se trata de um caso que abrange grandes volumes e vários laboratórios diferentes. Essa escolha também permite acrescentar outros equipamentos ao reaproveitamento em um segundo momento, caso outros laboratórios passem a utilizar destiladores, ou aumentem seu uso e passem a ser relevantes em termos de investimento na infraestrutura necessária. Isso é possível uma vez que o projeto se baseia na conexão de

Unidades Autônomas de Captação e Bombeamento (ou UACB), que consistem em pequenos sistemas de captação da água na saída do destilador e reserva dentro do laboratório, a partir dos quais ocorre o bombeamento para o sistema central de fornecimento de água. Logo, o conceito modular do projeto permite adições após sua finalização. Vale ressaltar que um facilitador da implementação dessa alternativa é o fato de haver um caso muito similar a ser usado como referência no mesmo campus, o projeto do Fundo Verde no Centro de Ciências da Saúde. Dados detalhados sobre a execução do projeto poderão ajudar para que o projeto na Escola de Química seja posto em prática de forma mais eficiente.

### **4.3 Local da instalação**

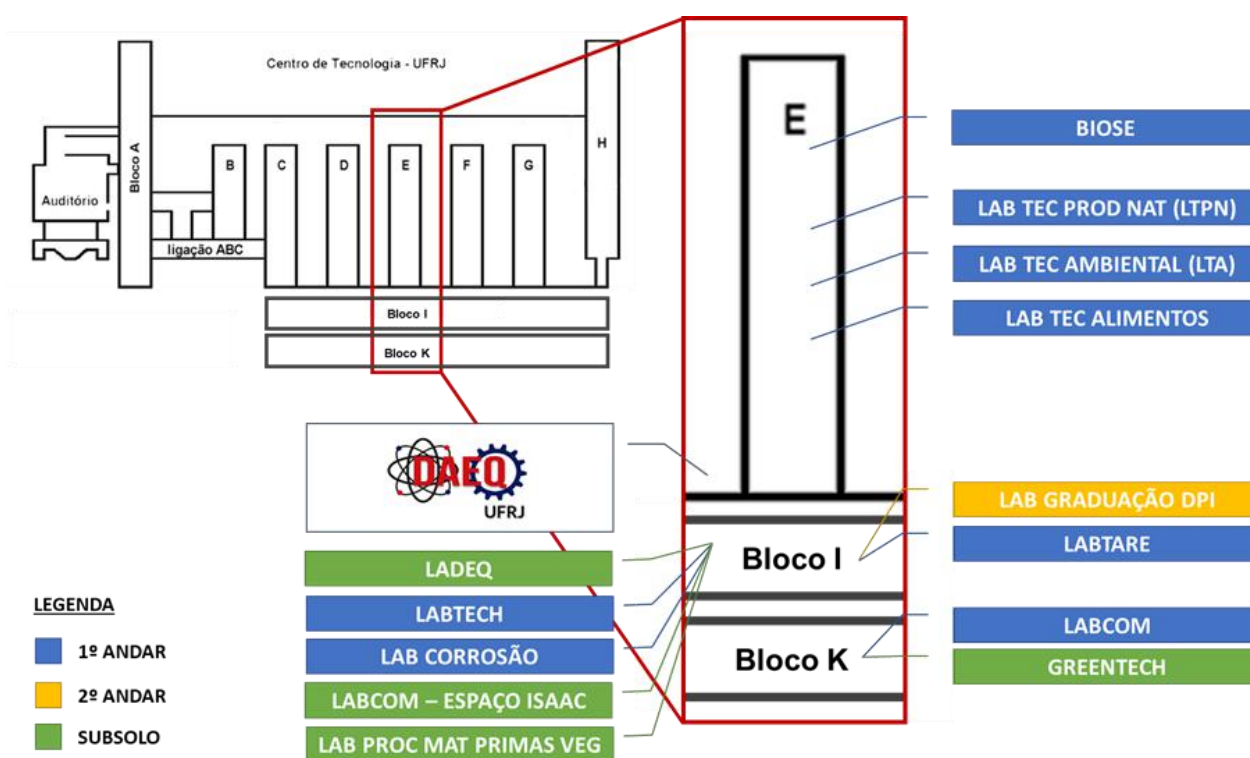
Como não existe uma caixa d'água dedicada exclusivamente à EQ e como o presente trabalho busca um impacto local mais significativo na EQ, foi definido que o volume recuperado seria destinado aos banheiros do Diretório Acadêmico da Escola de Química (DAEQ). O DAEQ é um espaço de convivência destinado principalmente aos alunos de graduação da Escola de Química, que dispõe de diversos ambientes de estudo, alimentação e descontração. Neste espaço, existe uma cantina, um espaço de fotocópias, uma sala de estudos, um espaço de almoço com mesas e diversos micro-ondas, além de um espaço de relaxamento com televisão e sofás, além de dois banheiros, um masculino e um feminino. O DAEQ é utilizado para realizar refeições, para estudo e também para socialização. Além disso, como ele é localizado no 1º andar, e os banheiros da EQ são localizados apenas no 2º andar, alunos que assistem às aulas neste piso também vão ao DAEQ caso precisem utilizar o banheiro.

Utilizando a água dos destiladores dos laboratórios da EQ em um espaço tão significativo para os alunos como o DAEQ seria uma ótima forma de retornar um recurso importante como a água para a própria Escola de Química. Dessa forma, o projeto buscaria recolher toda a água descartada pelos destiladores dos laboratórios em uma caixa d'água intermediária, que seria utilizada para abastecer os dois banheiros do Diretório Acadêmico, e o volume excedente, caso exista, seria direcionado ao sistema de abastecimento central do Centro de Tecnologia, visto que a Escola de Química não possui um abastecimento separado.

Sabendo-se que não estão disponíveis informações sobre o consumo de água desses banheiros, no capítulo de metodologia foi descrita e realizada uma estimativa para esse volume de água. Como resultado, obteve-se um volume de 69.184 L, ou 70 m<sup>3</sup>, de água gasto nos dois banheiros do DAEQ por mês.

Por fim, tendo em vista a escolha de projeto para o caso da Escola de Química e o local para onde será destinado primeiramente o volume de água recuperado, a seguir é apresentado um esquema visual da localização de todos os potenciais laboratórios mapeados e também a localização do Diretório Acadêmico, uma vez que o reservatório de água reaproveitada seria localizado próximo ao mesmo. Embora todos os laboratórios mapeados estejam representados na Figura 11, no próximo capítulo será discutido se todos de fato seriam incluídos no projeto.

Figura 11: Esquema de localização dos laboratórios mapeados e do Diretório Acadêmico da Escola de Química



Fonte: Elaboração Própria, 2021

#### 4.4 Análise econômica

Uma vez definida a solução mais adequada para a EQ, após levar em consideração todas as informações levantadas sobre o Centro de Tecnologia e a Escola, foi necessário considerar a viabilidade do projeto e quais seriam seus retornos para a Universidade. Para isso, foi necessário estimar o custo da implementação dessa solução na Escola de Química. Essa estimativa baseou-se no orçamento do projeto realizado no CCS, através do qual obteve-se, de forma detalhada, os custos envolvidos no projeto, que foram agrupados em 6 grandes grupos.

Na Tabela 5 a seguir, é possível ver um resumo dos custos presentes no orçamento do projeto do CCS citado acima, com a correção monetária de 58,01% referente ao período de 2015 a 2021 de acordo com o Índice Nacional de Custos de Construção (INCC). Os valores não foram atualizados até janeiro de 2022 pois os índices referentes ao primeiro mês do ano ainda não estavam disponíveis. Além disso, seguindo o que foi feito no projeto do CCS, após a linha de custo total, foi adicionado o custo total BDI, ou Benefícios e Despesas Indiretas. O BDI é comumente usado na precificação de obras e funciona como uma margem de segurança para o orçamento do projeto. A fim de possibilitar a comparação de resultados finais, foi utilizada uma margem de 18% como um componente adicional aos custos diretos.

Tabela 5: Resumo dos custos totais do Projeto CCS com a correção monetária

<b>Grupos de Custo</b>	<b>Custo</b>
Serviços Gerais (Mão-de-obra)	R\$149.832,70
Montagem de 30 Unidades Autônomas de Captação e Bombeamento (UACB)	R\$105.001,40
Instalação de 30 UACB em 30 laboratórios do CCS	R\$42.138,24
Instalação dos reservatórios externos e da malha de canos de interligação com as UACB	R\$47.750,89
Montagem do quadro elétrico de comando e instalação de bombas centrífugas	R\$31.149,95
Reservatórios externos	R\$37.987,79
<b>TOTAL</b>	<b>R\$413.860,97</b>
<b>TOTAL BDI</b>	<b>R\$488.223,21</b>
<b>TOTAL BDI (Correção monetária)</b>	<b>R\$771.441,49</b>

Fonte: Elaboração Própria, 2021

Em posse dessas informações, foi utilizada a metodologia descrita em detalhes no capítulo anterior, para adaptação do projeto original para a realidade da Escola de Química, já que existem particularidades como por exemplo o número de laboratórios e o volume de água recuperada.

De acordo com os dados da Tabela 4, 96% do volume desperdiçado que foi mapeado vem de destiladores. Além disso, o projeto do CCS, utilizado aqui como modelo, contemplava apenas esse tipo de equipamento. Por isso, considerando que as UACBs já foram originalmente projetadas para destiladores e a fim de simplificar o projeto e evitar custos com adaptação para um volume pouco significativo, foi definido que apenas os destiladores seriam contemplados. Por isso, a escolha dos laboratórios que serão de fato considerados para o projeto foram baseados nos valores da Tabela 6.

Tabela 6: Volumes de água descartada por destiladores nos laboratórios mapeados da Escola de Química

<b>Laboratório</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>/mês)</b>
LTA - Laboratório de Tecnologia Ambiental	37.89
Ladeq e Multidisciplinar	16.00
GreenTech	16.00
Laboratório de Corrosão	15.00
Laboratórios Graduação DPI	15.00
LabTare	10.90
LABCOM	6.82
BIOSE	4.80
Laboratorio de Tecnologia de Alimentos	0.82
LabTech	0.40
LABCOM - Espaço Isaac	0
Laboratório de Processamento de Matérias Primas Vegetais	0
LTPN - Laboratório de Tecnologia de Produtos Naturais	0

Fonte: Elaboração Própria, 2021

É importante ressaltar que todos os laboratórios mapeados possuíam apenas um destilador. Logo, o número de destiladores coincide ao número de laboratórios, sendo, portanto, menções equivalentes. Como é possível verificar na Tabela 6, os três últimos laboratórios não possuíam volumes descartados provenientes de destiladores, e por isso a quantidade de destiladores considerados varia de 10 – todos com volumes relevantes – a um – apenas o destilador com maior volume descartado. Tendo essa variação em mente, pode-se observar os custos envolvidos no projeto em relação a quantidade de destiladores incluídos na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7: Custos de projeto variando conforme a quantidade de destiladores envolvidos

<b>Número de Destiladores</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>
<b>TOTAL</b>	<b>R\$171.382,89</b>	R\$159.892,12	R\$148.401,34	R\$136.910,57	R\$125.419,79
<b>TOTAL BDI</b>	<b>R\$202.176,84</b>	R\$188.621,41	R\$175.065,99	R\$161.510,56	R\$147.955,13
<b>TOTAL BDI (Correção monetária)</b>	<b>R\$319.459,62</b>	R\$298.040,69	R\$276.621,77	R\$255.202,84	R\$233.783,90
<b>Número de Destiladores</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>	R\$113.929,02	R\$102.438,24	R\$90.947,47	R\$66.794,10	R\$55.303,32
<b>TOTAL BDI</b>	R\$134.399,70	R\$120.844,27	R\$107.288,84	R\$78.795,61	R\$65.240,19
<b>TOTAL BDI (Correção monetária)</b>	R\$212.364,97	R\$190.946,03	R\$169.527,10	R\$124.504,94	R\$103.086,02

Fonte: Elaboração Própria, 2021

Como abordado no capítulo anterior, o custo do reservatório de água, que faz parte das estimativas apresentadas na Tabela 7 acima é o único gasto que não foi estimado baseando-se no número de laboratórios considerados. Para esse caso, o seu volume foi calculado tendo como base o volume de água semanalmente recuperado e o gasto estimado, também semanal, dos banheiros do DAEQ, que já foi calculado anteriormente e corresponde a aproximadamente 20 metros cúbicos por semana.

Na Tabela 8 abaixo, é possível ver que a partir do caso em que são incluídos todos os 10 laboratórios até o caso com os três laboratórios de maior volume descartado, tem-se um volume semanal acima ou próximo do consumo semanal calculado para o DAEQ de 20 m<sup>3</sup> por semana, e, para os dois casos restantes, um volume aproximado de 10 m<sup>3</sup> por semana. Logo, no primeiro cenário foram precificados dois reservatórios de 10 m<sup>3</sup> (ou 10.000 L) e no segundo cenário apenas um.

Tabela 8: Quantidade de Laboratórios incluídos no projeto relacionada ao volume recuperado e o volume de reservatório necessário

Quantidade de Laboratórios	Volume Recuperado (m <sup>3</sup> /mês)	Volume Recuperado (m <sup>3</sup> /semana)	Volume de Reservatório (m <sup>3</sup> )
10	123,63	30,91	20 m <sup>3</sup> ou 20.000L
9	123,23	30,81	
8	122,41	30,60	
7	117,61	29,40	
6	110,79	27,70	
5	99,89	24,97	
4	84,89	21,22	
3	69,89	17,47	
2	53,89	13,47	10 m <sup>3</sup> ou 10.000L
1	37,89	9,47	

Fonte: Elaboração Própria, 2021

Definidos como os custos de implementação variam de acordo com o número de destiladores, ou laboratórios, contemplados no projeto, foi realizado uma estimativa de tempo de retorno considerando a economia financeira que a reutilização dessa água resultaria para cada um dos cenários definidos. Ou seja, após quantos meses a economia mensal nas contas de água seria suficiente para cobrir os custos de implementação do projeto.

Para isso, foi consultada a tarifa do metro cúbico de água fornecida pela empresa Águas do Rio, que em janeiro de 2022 era de R\$ 14,61 Além da tarifa pelo m<sup>3</sup> de água consumido, uma tarifa do mesmo valor é aplicada ao tratamento de esgoto do volume correspondente. Logo, o custo total por m<sup>3</sup> de água consumido é de R\$ 29,23.

Na Tabela 9 abaixo é possível observar um resultado de perfil parabólico, com um ponto de mínimo no cenário de projeto envolvendo seis laboratórios, o que resultaria em um retorno do investimento em aproximadamente seis anos. A título de comparação, o projeto do Fundo Verde no CCS teve um investimento inicial de R\$ 488.223,21 e uma economia mensal de aproximadamente R\$ 6.000,00, o que resulta em um retorno de investimento em 6,8 anos. Logo, outras alternativas com quantidades de laboratórios além da ótima mencionada poderiam ser escolhidas para a Escola de Química, dependendo do orçamento disponível para tal e o engajamento dos responsáveis pelos laboratórios na implementação do projeto.

Tabela 9: Economia mensal baseada no volume de água recuperada e tempo de retorno do investimento

<b>Quantidade de Laboratórios</b>	<b>Volume Recuperado (m³/mês)</b>	<b>Economia mensal</b>	<b>Custo de Implementação</b>	<b>Retorno (meses)</b>	<b>Retorno (anos)</b>
<b>10</b>	123,63	R\$3.613,31	R\$319.459,62	88,41	7,37
<b>9</b>	123,23	R\$3.601,62	R\$298.040,69	82,75	6,90
<b>8</b>	122,41	R\$3.577,66	R\$276.621,77	77,32	6,44
<b>7</b>	117,61	R\$3.437,37	R\$255.202,84	74,24	6,19
<b>6</b>	110,79	R\$3.238,04	R\$233.783,90	72,20	6,02
<b>5</b>	99,89	R\$2.919,47	R\$212.364,97	72,74	6,06
<b>4</b>	84,89	R\$2.481,07	R\$190.946,03	76,96	6,41
<b>3</b>	69,89	R\$2.042,66	R\$169.527,10	82,99	6,92
<b>2</b>	53,89	R\$1.575,03	R\$124.504,94	79,05	6,59
<b>1</b>	37,89	R\$1.107,40	R\$103.086,02	93,09	7,76

Fonte: Elaboração Própria, 2021

## 5. Conclusão

Sabe-se que a situação hídrica do país é delicada. Apesar de, por muito tempo, ter sido considerada como recurso infinito, a água é um bem que deve ser preservado e que, dado o atual crescimento da população, tem levantado grandes preocupações em relação à sua escassez e qualidade. Especificamente na cidade do Rio de Janeiro, onde a UFRJ está localizada, têm se tornado frequentes os episódios de crises no abastecimento da água fornecida.

Por esse motivo, o presente trabalho teve como objetivo propor a captação e reutilização da água que é desperdiçada diariamente nos laboratórios de ensino e pesquisa da Escola de Química da UFRJ (EQ). Para isso, foi utilizada uma metodologia de teor exploratório e analítico, por meio da qual foi definida uma proposta de projeto específico para a realidade da Escola e estimados a sua viabilidade e retorno financeiros. A fim de conhecer as especificidades da Instituição antes da definição dessa proposta, foi realizada também uma coleta de dados de consumo de água do CT como um todo, e o mapeamento de equipamentos, seu consumo de água e volumes descartados em cada um dos laboratórios da EQ.

Através da metodologia descrita no Capítulo 3, acredita-se que foi possível atingir o objetivo geral do trabalho de propor a reutilização da água desperdiçada dos laboratórios da EQ. Partindo de etapas de pesquisa, levantamento e estudos de caso, foi possível entender a realidade da Escola de Química em relação ao desperdício de água e quais soluções, que já haviam sido implementadas em outras instituições, poderiam ser utilizadas para melhorar o cenário da Escola no que tange à utilização da água. Com a solução definida, após diversas estimativas e cálculos, foi possível mensurar sua viabilidade e retorno financeiros.

Quanto ao mapeamento de informações de laboratórios, visto que o trabalho foi realizado durante a pandemia causada pelo COVID-19, as visitas presenciais foram limitadas e foi necessário, por vezes, o contato e o levantamento de informações de forma virtual. Isso, de certa forma, dificultou o mapeamento total da Escola de Química, pois, em aproximadamente 30% dos casos o contato via *e-mail* não foi correspondido. Além disso, como as visitas e entrevistas realizadas por meio de videochamadas não possibilitam a medição de volumes e vazões dos equipamentos, nesses casos dependeu-se da disponibilidade dos funcionários e responsáveis pelos laboratórios em fornecer as informações necessárias. Também foi encontrada alguma resistência ao fornecimento de dados em poucas situações. Por conta disso, para futuros projetos que busquem avançar na mesma direção do presente trabalho, acredita-se ser necessário obter um apoio direto da Diretoria da EQ, para que todos os membros



da instituição entendam a importância e colaborem para a elaboração de um projeto que possa englobar todas as variáveis possíveis de forma a refletir a realidade da Escola.

Também foram realizados os estudos de caso para entender todas as possíveis formas de intervenção para otimizar o reaproveitamento de água. Foram definidos três principais grupos de projeto, e discutidos os pontos positivos e negativos de cada um deles. Após a comparação, foi definido que o melhor método de intervenção para a Escola de Química seria a reintegração da água recuperada ao sistema de abastecimento central do prédio.

Após definir o tipo de projeto a ser implementado, foi possível definir todas as premissas de implementação do projeto e analisar a sua viabilidade econômica. Para isso, foram estudados os orçamentos provenientes do projeto executado no Centro de Ciências da Saúde, com as suas devidas adaptações. Por fim, foram analisados diversos cenários nos quais abrangiam-se diferentes quantidades de laboratórios na execução do projeto para identificar o ponto ótimo de retorno de investimento, ou seja, o menor tempo para recuperar-se o dinheiro gasto com a implementação. Percebeu-se então que o cenário ótimo era o que abrangia seis laboratórios, tendo um retorno em aproximadamente seis anos. Porém, ressaltou-se também que todos os cenários apresentaram tempos razoáveis de retorno de investimento, sendo possível realizar a implementação do projeto com quantidades diferentes de laboratórios, dependendo do engajamento dos responsáveis e do orçamento disponível para tal.

Uma possível alternativa para redução de custos seria a criação de um projeto de extensão no qual os alunos e professores poderiam desempenhar algumas tarefas referentes ao planejamento, implementação e acompanhamento do projeto, que atualmente estão precificadas no orçamento.

Além disso, outro ponto a ser discutido é a necessidade de atualização da infraestrutura da Escola de Química, que conta com equipamentos datados e que prejudicam o uso consciente da água. Um exemplo disso são os vasos sanitários dos banheiros, que ainda são de modelos antigos com válvula de descarga na parede e que apresentam um alto consumo de água. Durante a pesquisa, descobriu-se que a atualização deste modelo para um modelo novo com caixa acoplada pode resultar em uma economia de aproximadamente 33,3% de água a cada acionamento de acordo a fabricante Celite (Blog Celite, 2017). Além deste exemplo, seguindo o projeto implementado no CSS, abordado em detalhes durante o trabalho, podem ser instalados também redutores de fluxo nas torneiras dos banheiros, que também resultam em uma grande economia de água. Em paralelo com a realização de projetos para reutilizar água descartada, como o presente trabalho, é importante fazer uma análise crítica da estrutura básica da Escola, para otimizar o uso da água.

Finalmente, o estudo mostrou, através de um detalhado levantamento de dados, que existe um grande potencial de reaproveitamento de água nos laboratórios da Escola de Química e que há uma solução para reduzir o mesmo, que, inclusive, já foi implementada em outro centro da própria Universidade. Apesar de complexa e custosa, a proposta apresentada se mostra economicamente viável e seu o investimento pode ter retorno em entre seis e oito anos, dependendo no número de laboratórios que se escolha abranger. Ou seja, passada essa quantidade de anos, a economia obtida nas faturas de fornecimento de água municipal será suficiente para cobrir os custos com o projeto e, a partir desse momento, o projeto resultará em economia financeira para a Universidade. Além disso, esse projeto, se implementado na EQ, seria pioneiro e serviria como um incentivo para que o mesmo seja replicado em outros pontos do Centro de Tecnologia, ou outros centros da UFRJ e de outras universidades do Brasil.

## 6. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Usos da água, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em: 29 jan. 2022.

ÁGUAS DO RIO. Legislação e Tarifas, 2022. Disponível em: <https://aguasdorio.com.br/legislacao-e-tarifas>. Acesso em: 7 jan. 2022.

AGUIAR, M. B. Reuso inteligente da água: técnica de reaproveitamento da água do destilador do laboratório. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 15, n. 1 p.90-97, jan./jun. 2018.

APPELT, P. Estimativa do desperdício de água de refrigeração de destiladores laboratorial. Synergismus scyentifica UTFPR, v. 3, n. 4, 2008.

AZEVEDO, F. G. P. Avaliação da qualidade da água descartada pelos destiladores. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, VII, 2016. Campina Grande: 2016. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-008.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Calculadora do cidadão, 2020. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>. Acesso em: 29 dez. 2021.

BONFIM, T.R.S. Reaproveitamento aa Água de Refrigeração de Destilador para Lavagem de Vidrarias em Laboratório de Análise Química, 2015. Disponível em: <https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/REAPROVEITAMENTO%20DA%20AGUA%20DE%20REFRIGERACAO%20DE%20DESTILADOR%20PARA%20LAVAGEM%20DE%20VIDRARIAS%20EM%20LABORATORIO%20DE%20ANALISE%20QUIMICA.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2022.

BRANDLI L.L., FRANDOLOSO M., TAUCHEN J. Improving the environmental work at University of Passo Fundo, Brazil — towards an environmental management system. *Brazilian J Oper Prod Manage* 8(1):31–54, 2011.

BRANDLI, L.L. The Environmental Sustainability of Brazilian Universities: Barriers and Pre-conditions, p. 1-12, 2014.

DECA. De olho na água, 2017. Disponível em: <https://www.deca.com.br/blog/de-olho-na-agua>. Acesso em: 29 dez. 2021.

DELLTA. Equipamentos para Laboratório. Disponível em: [http://www.dellta.com.br/index.php?route=product/product&product\\_id=351](http://www.dellta.com.br/index.php?route=product/product&product_id=351). Acesso em: 6 jan. 2022.

DISTERHEFT A., CAEIRO S., RAMOS MR., AZEITEIRO U. Environmental management systems (EMS) implementation processes and practices in European Higher Education Institutions e top-down versus participatory approaches. *J Clean Prod* 31:80–90, 2012b.

EQ HANDS ON. Quem Somos, 2013. Disponível em: <https://eqhandson.wixsite.com/eqhandson/quem-somos>. Acesso em: 25 jan. 2022

FGV IBRE. Índice Nacional de Custos de Construção, 2021. Disponível em: <https://portalibre.fgv.br/incc>. Acesso em: 30 jan. 2022.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO, Instrução Normativa Nº 10, 12 nov. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-10-de-12-de-novembro-de-2012>. Acesso em: 12 jan. 2022.

JUSTI, F. Achieving efficient water management at the Federal University of São Paulo, Brazil. *Sustainability in Debate*, Brasília, v. 12, p. 133-149, 5 abr. 2021.

KLIGERMAN, D.C. Caminhos para viabilização da convergência de interesses na despoluição do Rio Guandu, Rio de Janeiro, Brasil, 2021. Disponível em:

<http://cadernos.ensp.fiocruz.br/csp/artigo/1415/caminhos-para-viabilizacao-da-convergencia-de-interesses-na-despoluicao-do-rio-guandu-rio-de-janeiro-brasil>. Acesso em: 29 jan. 2022.

BICUDO C. E. M. Águas do Brasil - Análises Estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 133-144. 2010.

LEAL FILHO, W. Sustainability at Universities: opportunities, challenges and trends. Peter Lang Scientific Publishers, Frankfurt, p 340, 2009.

LEAL FILHO, W. The Role of Green and Sustainability Offices in Fostering Sustainability Efforts at Higher Education Institutions. *Journal of Cleaner Production*, v. 232, p. 1394-1401, 2019.

MARINHO, M.; GONÇALVES, M. S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. *Journal of Cleaner Production*, v. 62, Issue 1, p. 98-106, 2014.

MATOS, S. C. C. de. Adaptação de uma unidade de destilação de água para reaproveitamento do fluido refrigerante interno com materiais de baixo custo. XII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, p. 1-8, 20 maio 2015.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Censo da Educação Superior. 2019. Resumo técnico. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_da\\_educacao\\_superior\\_2019.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_da_educacao_superior_2019.pdf). Acesso em: 19 set. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Guidelines for Drinking-water Quality, ed. 4, 2011. Disponível em: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151\\_eng.pdf;jsessionid=D E7C74EB8D4C363B88136AB076BCEF3B?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf;jsessionid=D E7C74EB8D4C363B88136AB076BCEF3B?sequence=1). Acesso em: 30 jan. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, PORTARIA Nº 2.914, 12 dez. 2011. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 7 jan. 2022.

CELITE. Qual bacia sanitária economiza mais água?. Disponível em: <https://www.celite.com.br/blog/qual-bacia-sanitaria-economiza-mais-agua/>. Acesso em: 29 dez. 2021.

SHARMA, K.P. Indian Journal of Environmental Sciences, 2005. Disponível em: [https://www.indiawaterportal.org/sites/default/files/iwp2/IJES\\_Vol8\\_2005.pdf](https://www.indiawaterportal.org/sites/default/files/iwp2/IJES_Vol8_2005.pdf). Acesso em: 7 jan. 2022.

SILVA, D. B. Avaliação do potencial de aproveitamento de água de refrigeração de um destilador de água laboratorial. 2014. 42 f. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014.

UNITED NATIONS. Report of the World Commission on Environment and Development: our common future. Genebra, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2021.