

## SISTEMA AUTOMATIZADO DE REUSO DE ÁGUA PARA O DESTILADOR DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA

Arthur Carlos de Faria<sup>1</sup>; Caíque Dutra Camargo<sup>2</sup>; Luiz Fernando Costa Santos<sup>3</sup>; Reginaldo Vagner Ferreira<sup>4</sup>; Walter Alves Durão Junior<sup>5</sup>.

1 Bolsista (IFMG), Curso de engenharia de controle e automação, IFMG Campus Betim, Cidade – MG  
arthurcarlos.faria@gmail.com

2 Bolsista (IFMG), Curso técnico integrado em química, IFMG, Betim – MG

3 Curso de engenharia de controle e automação, IFMG, Betim – MG

4 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Betim; [reginaldo.ferreira@ifmg.edu.br](mailto:reginaldo.ferreira@ifmg.edu.br)

5 Co-orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Betim; [junior.durao@ifmg.edu.br](mailto:junior.durao@ifmg.edu.br)

### RESUMO

Este projeto realizou a análise e o estudo dos destiladores do laboratório de química do IFMG Betim e construiu um sistema automático de reuso de água, com o intuito de reduzir drasticamente o desperdício de água causado pelo processo de destilação, reduzir custos para o Instituto sem limitar as atividades acadêmicas no laboratório de química e dar início a um sistema de gestão mais inteligente, sustentável e econômico. Na parte inicial da pesquisa foi feito um planejamento dividido em 4 etapas: levantamento de dados e estudo do problema; revisão bibliográfica; desenvolvimento do desenho em 3D da estrutura física e o esquemático do circuito eletrônico; ajustes do projeto e aquisição dos materiais. O projeto é constituído de um sistema de captação da água eliminada pelo destilador, que em seguida, passa por um reservatório equipado com sensores de temperatura e de nível, atuadores e um microcontrolador ESP-32, responsáveis por realizar de forma autônoma a análise físico-química e a destinação da água. A estrutura física definida é composta por dois tanques, em que um deles serviu para análise das características físico-químicas da água e o outro foi usado como reservatório da água analisada e pronta para a distribuição. A qualidade da água pôde ser constantemente avaliada para o reuso no processo de destilação. Apesar de limpa, a água eliminada pelo sistema possui alta concentração de substâncias, que torna a sua reutilização no destilador inviável após um determinado número de reutilizações no destilador. Por meio de testes, estimou-se que é gasto um valor superior a 40 litros de água para cada litro de água destilada. Com isso, o projeto mostrou-se essencial para um futuro sustentável do campus, visto que a demanda por uma gestão mais inteligente dos recursos hídricos é crescente na atualidade, não apenas como forma de beneficiar o meio-ambiente, mas também para gerar economia. Além disso, as documentações desenvolvidas por esta pesquisa podem ser utilizadas pelos demais Institutos Federais como referencial teórico para a reaplicação da metodologia utilizada para o alcance dos resultados obtidos.

### INTRODUÇÃO:

A crescente discussão sobre mudanças climáticas e preservação de recursos vêm aumentando a cada ano. O modelo de vida atual culmina em grandes alterações no nosso ecossistema, deste modo, todos devem se esforçar para diminuir as contribuições para tais mudanças no globo terrestre. Dentre os recursos existentes, a água é com certeza o mais importante e que merece mais atenção, pois toda a vida depende de tal substância.

Devido ao enorme gasto de água nos processos de destilação feitos nos laboratórios de química, surgiu a demanda por uma maneira de fazer a gestão da água que até então era descartada e assim, diminuir o consumo através da rede pública e tornar o uso dos destiladores mais sustentável. O projeto “Sistema Automatizado de Reuso de Água para o destilador dos laboratórios de Química” propõe a criação de uma gestão inteligente da água utilizada em destiladores e alia a necessidade aos conhecimentos gerados pela Instituição por meio dos cursos de Química e Automação. O sistema deve ser capaz de fazer não só a captação, mas também a análise de qualidade e a destinação da água de forma totalmente autônoma. Para tornar isso possível foi realizada a análise do processo de destilação, a pesquisa dos dados estatísticos a respeito da temperatura média da água do sistema, a qualidade da água e quantidade de água utilizada em relação a quantidade de água destilada produzida pelo destilador.

O equipamento destilador vale-se de um sistema de aquecimento por resistência elétrica e um sistema de resfriamento baseado em água que entra e sai da tubulação continuamente para que possa haver uma troca de calor adequada. Contudo, a água que deixa o destilador, é comumente descartada, culminando em desperdício. O destilador é constituído por uma coluna de resfriamento e pela caldeira. Deste modo a água do sistema de abastecimento para chegar à caldeira passa pela parte externa da coluna de resfriamento. Neste momento, a água, que também é a matéria-prima da destilação, age como agente de troca de calor no sistema recebendo o calor da água destilada. Assim que deixa a coluna de resfriamento, a água entra na caldeira onde é aquecida e vaporizada pela resistência afim de ser coletada por um tubo no centro da caldeira que a levará novamente ao tubo de resfriamento, desta vez na parte interna. Contudo, a caldeira não destila todo o montante e elimina o excesso de água, evitando o transbordo (este controle é feito por um mecanismo do tipo boia).

Ao conectarmos o escape da caldeira à um reservatório é possível recuperar grande parte da água descartada e reutiliza-lo em destilações futuras. Entretanto, existem alguns aspectos que limitam as reutilizações, sendo estes o nível de água, a temperatura e a concentração de íons. Pensando nesse aspecto o presente trabalho contempla a montagem do sistema de reuso, estudo e criação de meios que possam avaliar as condições para reutilização sem que haja alteração nas condições fundamentais da água destilada.

Os trabalhos realizados foram divididos em uma parte teórica, com a realização de pesquisas e estimativas baseadas em revisão bibliográfica e em uma parte prática, envolvendo instalações e testes. Os testes práticos tiveram o intuito de definir o número de ciclos de reuso máximo da água no destilador do IFMG campus Betim e relacionar o número de ciclos e a eficiência do destilador às mudanças físico químicas da água, bem como a metodologia utilizada para obtenção dos resultados alcançados.

## **METODOLOGIA:**

As etapas iniciais do projeto consistiram de um planejamento detalhado baseado no estudo do processo de destilação, a qualidade da água descartada e o levantamento de sistemas de reuso de água de destilador inteligente. Através da pesquisa, foi possível desenvolver o esquemático do circuito eletrônico e o modelo 3D da estrutura física demonstrando a disposição dos elementos no laboratório de química. Cada atividade foi dividida em planejamento, execução e validação.

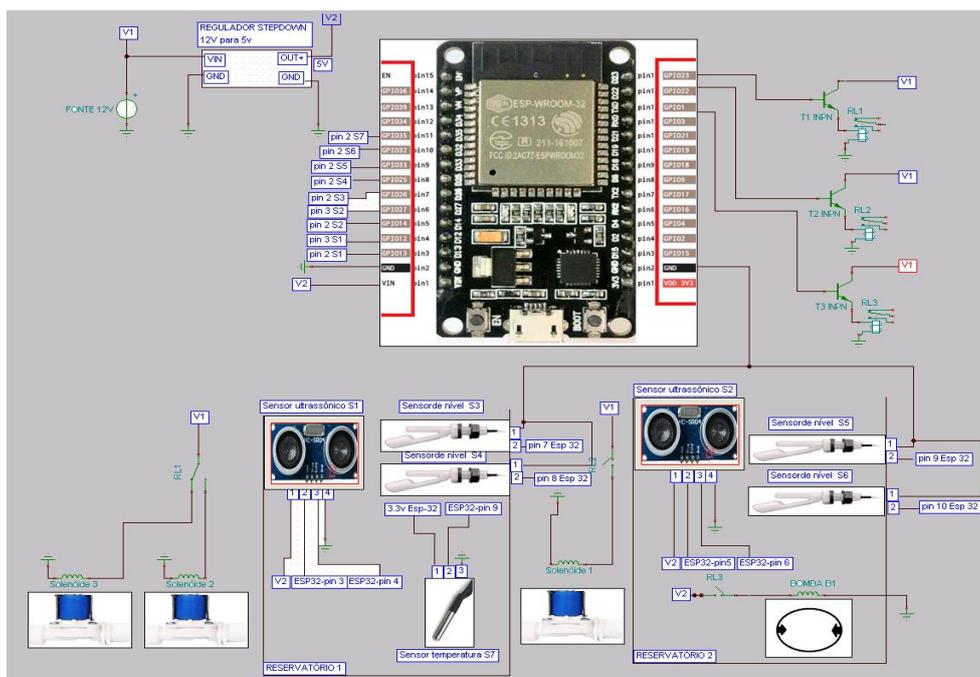
Após chegar a um consenso sobre a melhor solução, foi realizado um estudo a respeito das tecnologias utilizadas atualmente e uma revisão bibliográfica a respeito das técnicas necessárias para implementação do sistema de reuso de água, bem como os dispositivos eletrônicos, variáveis medidas no processo e problemas que possam impactar na solução. O microcontrolador ESP-32 foi escolhido para fazer a leitura dos sensores e controle dos atuadores existentes devido a sua facilidade na montagem, tamanho e conectividade com a internet. Isso trouxe para o projeto a possibilidade da integração de um aplicativo com o sistema para gerar gráficos e relatórios em tempo real. Além disso, foi definido que cada tanque deveria conter sensores de níveis mecânicos e um sensor ultrassônico para medir a quantidade de água disponível e a quantidade de água economizada pelo sistema.

Um sensor de temperatura também foi colocado no tanque que recebe água do destilador para medir a temperatura média após cada processo de destilação. Para realizar o direcionamento da água, foram utilizadas válvulas hidráulicas acionadas por solenoide, módulos relés com optoacopladores para a integração dos dispositivos de potência com o microcontrolador e uma bomba hidráulica para recalcar a água até o reservatório de redistribuição da água coletada. Após o estudo dos dispositivos eletrônicos, o esquemático eletrônico da Figura 1 foi desenvolvido no *software* Tina.

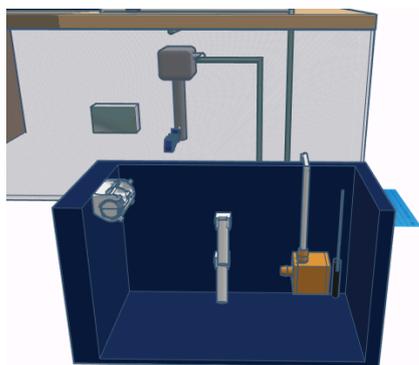
A figura 2 mostra o modelo 3D com a representação do reservatório responsável pela captação da água do destilador e a análise de sua temperatura por meio do sensor de temperatura. O controle da temperatura será feito ao permitir ou não a passagem da água do reservatório 1 para o reservatório 2 (Figura 3).

O painel mostrado na figura 4 foi utilizado para instalar os relés e o microcontrolador em um local de fácil acesso e conectividade com a internet para que possa ser feito o monitoramento pelos alunos do e funcionários do laboratório de química. Na figura 5 é possível ver todo o projeto da estrutura física idealizado durante as fases de revisão, estudo e planejamento. A partir dele foi possível determinar os materiais necessários, os testes a serem realizados e as fases seguintes.

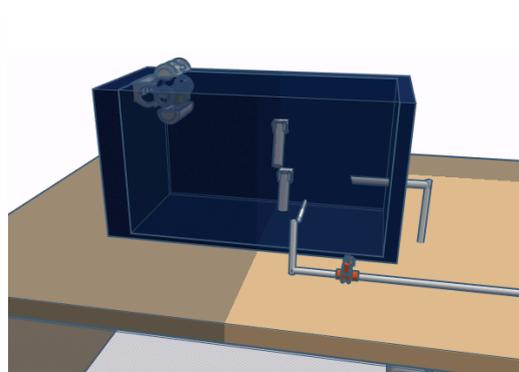
**Figura 1: Esquemático Eletrônico**



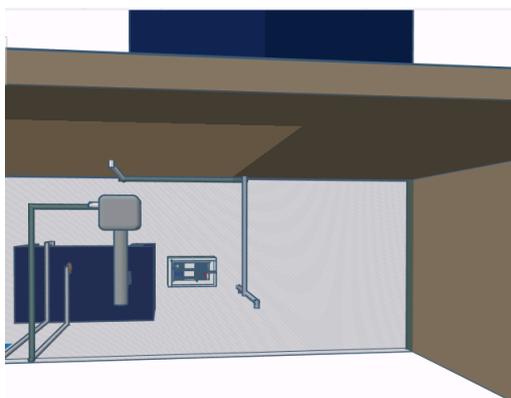
**Figura 2: Reservatório 1**



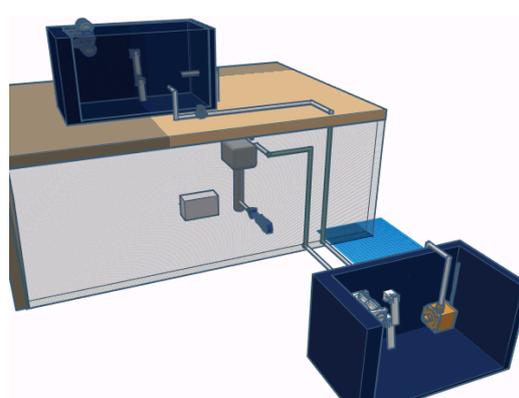
**Figura 3: Reservatório 2**



**Figura 4: Painel eletrônico**



**Figura 5: Modelo 3D completo**



FONTE: Figuras do Autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

### Montagem e testes

O sistema foi instalado no laboratório de química como mostrado nas imagens a seguir para iniciar o experimento, a fim de obter a validação do sistema. A Figura 6 ilustra a bomba d'água instalada no reservatório inferior, a Figura 7 apresenta o sistema eletrônico de controle e alimentação elétrica e a Figura 8 retrata o destilador utilizado.

**Figura 6: Instalação da bomba d'água.**



**Figura 7: Sistema de controle e alimentação elétrica.**



**Figura 8: Imagem do destilador instalado.**



FONTE: Imagens do Autor.

O experimento consistiu em colocar uma quantidade de água no reservatório de recalque e destilar a mesma água por diversos ciclos a fim de descobrir a variação da eficiência do destilador em função da temperatura e da concentração de íons na água. Em cada ciclo foram medidos, o volume inicial, a temperatura inicial, a temperatura final, a quantidade de água destilada, a dureza da água de reuso e a condutividade da água destilada. Com isso, pôde-se estabelecer os valores máximos acima dos quais o algoritmo interrompe o sistema para utilizar novamente a água da Copasa.

A tabela 5 apresenta os resultados de cada ciclo do teste mencionado, enquanto a tabela 6 mostra a eficiência de reutilização da água no processo de destilação.

**Tabela 5: Resultados de cada ciclo**

Resultados dos testes											
Ciclo	T	TI (°C)	TF (°C)	h (dm)	D1 (dm)	D2 (dm)	Volume de água (L)	Água destilada (L)	Água destilada/Água usada	Água Descartada /água usada	Água Descartada (L)
1	1:32	26	42	3,2	9,0	9,8	222,5	7	3,1%	96,9%	215,5
2	1:20	39	50	2,8	9,0	9,8	194,7	5,75	3,0%	97,0%	188,9
3	1:20	46	55	2,67	9,0	9,8	185,6	4,9	2,6%	97,4%	180,7
4	1:19	25	40	2,5	9,0	9,8	173,8	5,75	3,3%	96,7%	168,1
5	1:21	37	48	2,4	9,0	9,8	166,9	5	3,0%	97,0%	161,9
6	1:13	42	52	2,25	9,0	9,8	156,4	4,5	2,9%	97,1%	151,9
7	1:16	24	39	2,15	9,0	9,7	147,8	4,4	3,0%	97,0%	143,4
8	1:01	36	49	2,1	9,0	9,7	144,4	3,75	2,6%	97,4%	140,6
9	1:10	45	59	1,98	9,0	9,7	136,1	3	2,2%	97,8%	133,1
10	47	25	40	1,8	9,0	9,5	121,0	3,9	3,2%	96,8%	117,1
11	5min0	37	49	1,72	9,0	9,2	111,9	3,25	2,9%	97,1%	108,6
12	44min	41	50	1,65	9	9,2	107,3	2,5	2,3%	97,7%	104,8

**Tabela 6: Eficiência de reaproveitamento de água**

Eficiência de reutilização			
Quantidade de água utilizada	Quantidade de água destilada obtida	Água destilada/Água usada	Água descartada/Água utilizada
222,5	53,7	24%	76%

Através dos testes foi possível observar que houve uma alteração da eficiência do destilador em função da temperatura. A eficiência foi considerada como a razão entre o volume de água destilada obtida e o volume de água utilizada. Além disso, foi possível observar que quando a água está a uma temperatura acima de 42°C, a entrada do destilador expande e ocorrem pequenos vazamentos, o que contribui para um desperdício de água e a redução do tempo de vida útil do equipamento, portanto a temperatura máxima foi definida como 40°C.

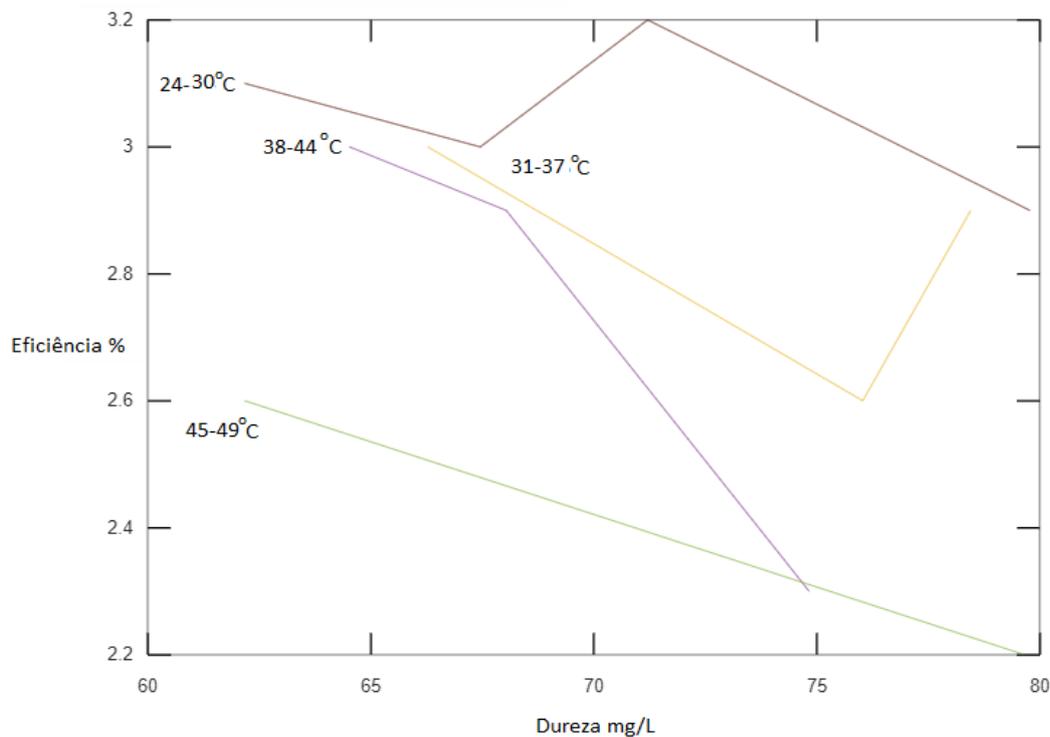
### Eficiência em função da dureza em diferentes temperaturas

As cores da tabela 7 foram definidas de acordo com a faixa de temperatura correspondente de cada curva no gráfico da Figura 9. Portanto, a comparação deve ser feita entre as linhas que contêm as mesmas cores, ou seja, que foram analisadas em uma mesma faixa de temperatura.

**Tabela 7: Eficiência x Temperatura**

Ciclo	Dureza	Temperatura	Eficiência
1	62,18	26	3,1%
2	64,53	39	3,0%
3	62,18	46	2,6%
4	67,46	25	3,3%
5	66,28	37	3,0%
6	68,04	42	2,9%
7	79,78	24	3,0%
8	76,03	36	2,6%
9	79,66	45	2,2%
10	71,21	25	3,2%
11	78,45	37	2,9%
12	74,83	41	2,3%

**Figura 9: Eficiência x Dureza**



Pode-se notar que não houve alterações significativas na quantidade de água destilada obtida em função da dureza. As consequências foram notadas apenas na qualidade e ocorreu ao mesmo tempo em que a água de reuso teve um aumento em sua concentração. Para resolver o problema de qualidade, foi desenvolvido um sensor de condutividade para detectar o aumento da concentração de sais e, com isso, determinar em qual ciclo o sistema está para que possa ser descartado antes de chegar a níveis prejudiciais à qualidade da água obtida.

## CONCLUSÕES:

Utilizando a metodologia aplicada nesta pesquisa, através do monitoramento inteligente dos sensores aliados ao ESP-32 foi possível uma economia consideravelmente satisfatória de água. Com 222 litros de água, foi possível obter 53,7 litros de água destilada. Antes da instalação do sistema seriam necessários aproximadamente 1732 litros de água para obter a mesma quantidade de água destilada, visto que a eficiência do sistema foi comprovadamente elevada de 3,1% para 24%. A tabela 8 sintetiza as principais conclusões técnicas dos experimentos.

**Tabela 8: Síntese numérica das conclusões técnicas.**

Síntese dos resultados				
	Quantidade de água utilizada	Quantidade de água destilada obtida	Água destilada/ água usada	Água descartada/ água utilizada
Resultado <b>após</b> a instalação do sistema	222,5	53,7 litros	24%	76%
Resultado <b>antes</b> da instalação do sistema	222,5	7 litros	3,1%	96,9%

Deve-se considerar que tal economia tem como base o fato de que a água anteriormente descartada não estava imprópria para a reutilização no destilador. A água residual estava apenas com a temperatura elevada e, caso a temperatura fosse abaixada, a água pode ser reutilizada por um número finito de ciclos tal que a concentração de sais seja limitada ao valor que não altere a qualidade da água destilada obtida.

Apesar do trabalho em questão não apresentar resultados que possam ser reproduzidos em quaisquer condições, por apresentar diversas variáveis, ele demonstra a viabilidade de se criar um sistema de reutilização de água do destilador. Além de contribuir para o próprio Instituto Federal, o projeto determinou um método de avaliação para reutilização de água de equipamentos destiladores de laboratórios, para reprodução do sistema em outros laboratórios.

Deste modo, a maior contribuição do projeto para a comunidade científica foi a exposição de um trabalho de automatização do reuso de água contando com os métodos de análise que comprovam o funcionamento do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Maria do Carmo Arenales. **“Projeto de Reuso de Água dos Destiladores”**. Dezembro de 2010. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=228104>. Acesso em: 24 de Junho de 2020.

Mateus Bravo de Aguiar; Carolina Patrício de Lima Lopes; Érico Tiago Dias; Diego Silva; Maria Carolina Parreiras Gonçalves Peixoto. **“Reuso Inteligente da Água: Técnica de Reaproveitamento da Água do Destilador do Laboratório de Química da Puc Minas Barreiro”**. Janeiro de 2018. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3505&article=1531&mode=pdf>. Acesso em: 25 de Junho de 2020.

