

## **SISTEMA AUTOMATIZADO DE REUSO DE ÁGUA PARA O DESTILADOR DOS LABORATÓRIOS DE QUÍMICA: ETAPA 2**

Victor Hugo Souza Bittencourt<sup>1</sup>; Reginaldo Vagner Ferreira<sup>2</sup>; Walter Alves Durão Junior<sup>3</sup>.

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

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

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

### **RESUMO**

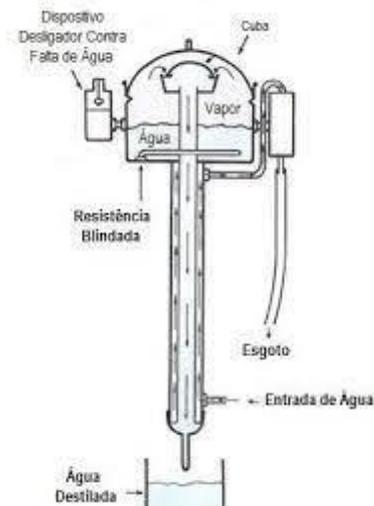
Sendo um recurso natural fundamental e limitado, a água e seu uso de forma racional são um dos pilares da sustentabilidade ambiental. Pensando no aumento da sua demanda durante os anos e as recentes situações de escassez hídrica ocorridas no país, é de suma importância a tomada de ações contra o desperdício desse recurso em todos os âmbitos possíveis. Levando em conta o consumo de água nos laboratórios de ensino e pesquisa da área de química, pode-se apontar a destilação como um dos maiores causadores de desperdício de água, pois na maioria dos destiladores encontrados em laboratórios, uma porção majoritária desse recurso é usada somente para refrigeração e logo descartada. Posto isso, o presente projeto tem como objetivo dar sequência a um projeto já existente no campus, “Sistema Automatizado de Reuso de Água para o Destilador dos Laboratórios de Química”, responsável por propor e construir um sistema automatizado para os laboratórios de química, que faz o reuso da água que seria eliminada, realimentando o próprio processo de destilação de forma a usá-la o máximo possível, garantindo um uso racional e eficiente desse importante recurso. A primeira parte do projeto comprovou a viabilidade do reuso proposto, não apenas como forma de beneficiar o meio ambiente, mas também por tornar o uso de água no campus mais eficiente. Tendo em vista os impactos positivos que o sistema citado obteve com os testes realizados em sua primeira fase, a segunda etapa do projeto tem como objetivo aperfeiçoar o que já havia sido feito, através de melhorias na confiabilidade e interface com o usuário. Tais melhorias incluem a criação de um aplicativo de monitoramento e alterações físicas no sistema, visando minimizar erros e torná-lo mais estável e confiável. Para uma melhor análise do funcionamento do destilador ao longo do tempo, a etapa 2 também tem como objetivo a implementação de um banco de dados para possibilitar o monitoramento das variáveis à distância e o armazenamento dos dados medidos durante o tempo.

### **INTRODUÇÃO:**

O uso de água destilada nos laboratórios de química é fundamental no preparo de soluções. Por ser o principal solvente presente nos laboratórios, ter essa substância com um grau de pureza elevado é uma das maiores preocupações no preparo e padronização de soluções. O processo de destilação da água é um dos principais métodos de purificação de substâncias utilizados em laboratório (BELTRAN, 1996), uma vez que com ele é possível purificar a água e a separar de eventuais resíduos e substâncias indesejadas da água pura. O seguinte projeto tem como base uma destilação feita usando destiladores do tipo Pilsen, como o da figura 1, bastante utilizados em instituições de ensino.

O processo de destilação nesse tipo de aparelho é realizado através do aquecimento da água inserida por um resistor blindado. Conforme a água aquece e entra em ebulição, o vapor é conduzido para um tubo metálico no centro do destilador e é resfriado com a própria água que está por fora do tubo, voltando assim para o estado líquido. Tal processo, porém, é bastante ineficiente, uma vez que, segundo DE FARIA e colaboradores (2021), cerca de 97% da água inserida é usada somente para o resfriamento e logo é descartada, gerando desperdício.

**Figura 1: Destilador do tipo Pilsen**

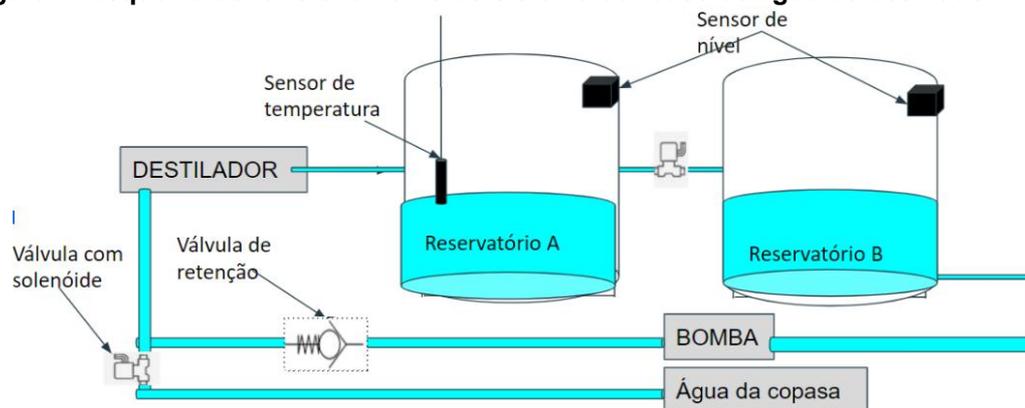


Fonte: Imagem obtida na internet, autor desconhecido, 2022.

Devido a esse enorme gasto de água nas destilações realizadas nos laboratórios de química, surgiu a demanda de tornar esse procedimento mais ecologicamente sustentável, dando uso para essa grande parte de água antes descartada. Por esta razão, o projeto “Sistema Automatizado de Reuso de Água para o Destilador dos Laboratórios de Química” pretende colaborar para a criação de uma gestão inteligente dos recursos de laboratórios que fazem uso de destiladores.

Na primeira etapa do presente projeto, foi construído um sistema com intuito de automatizar esse reuso de água, tendo como base duas caixas d’água de 500L, uma responsável por receber a água de descarte (reservatório A) e outra responsável pela água que irá para a entrada do destilador (reservatório B), cada uma com sensores de nível máximo e mínimo. Além disso, compõe o sistema uma bomba d’água, usada para transferir a água do reservatório B para o destilador, um sensor de temperatura, presente no reservatório A, bem como duas válvulas solenóides, uma responsável por controlar a saída do reservatório A para o B e outra responsável pelo controle da água vinda da companhia de saneamento (Copasa), como mostra a figura 2. Para fazer as leituras dos sensores e o controle das válvulas e bomba foi usado um micro controlador ESP 32.

**Figura 2: Esquema de funcionamento do sistema de reuso de água do destilador.**



Fonte: DE FARIA e colaboradores, 2021.

O funcionamento do sistema consiste em escoar a água da saída do destilador para o reservatório A até que seu nível máximo seja atingido (sensor de nível alto ligado) e a sua temperatura esteja abaixo de 30°C, temperatura definida na etapa anterior baseando-se nos testes que a relacionavam com a eficiência do destilador. Caso isso ocorra, será ligada a válvula responsável pelo escoamento do reservatório A para o B. Assim, enquanto o reservatório B estiver acima de seu nível mínimo, o fornecimento de água pela COPASA será interrompido e o destilador reusará a água vinda dessa caixa d’água. Todo esse ciclo se repete enquanto

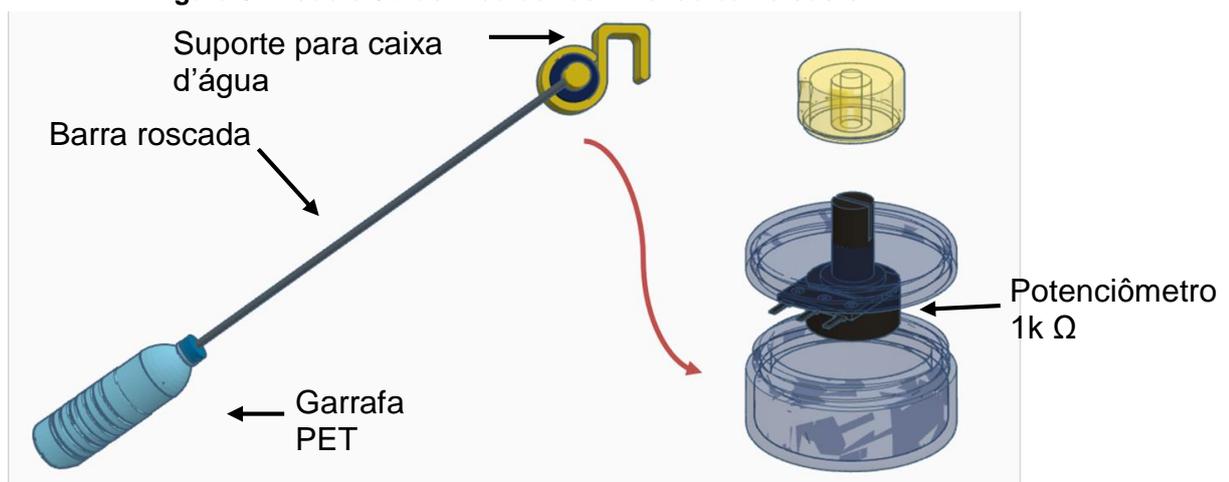
a quantidade de reutilização for inferior a 10 ou a condutividade for menor que  $280 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Inicialmente, houve a intenção de usar um sensor ultrassônico para a medição do nível de forma contínua, além de medidores de nível máximo e mínimo, porém, devido a sua baixa resistência a umidade, foi proposto um medidor de nível analógico de baixo custo como forma de melhoria para esta segunda etapa.

Tendo em vista o sistema já descrito, o presente projeto tem o intuito de aperfeiçoar o projeto existente, incluindo além de melhorias de *hardware*, a implementação de um registro das variáveis coletadas pelo micro controlador na “nuvem” através de uma plataforma *IoT* (*Internet of Things* – em português, Internet das Coisas) e a criação de um aplicativo com interface gráfica para o usuário, a fim de promover o monitoramento à distância.

## METODOLOGIA:

As etapas iniciais do projeto consistiram em entender o código utilizado pelo micro controlador ESP 32, encontrando possíveis melhorias que poderiam ser realizadas na programação, e uma análise na parte física do sistema, realizando testes dos sensores, válvulas e bomba. Nesse primeiro momento, foi notado um mau funcionamento nos sensores ultrassônicos, apresentando oxidação visível, constatando assim sua pouca resistência à umidade. Sabendo que a medição de nível havia sido abandonada justamente por essa fragilidade do sensor ultrassônico, foi sugerida a criação de um sensor de nível de baixo custo baseado em um potenciômetro acoplado a uma bóia, assim, conforme o nível aumenta, a resistência do potenciômetro também sobe. O modelo do medidor pode ser encontrado na figura 3.

**Figura 3: Modelo 3D do medidor de nível de baixo custo.**



Fonte: Captura de tela do modelo elaborado pelo autor, capturada no programa TinkerCad, 2022.

Devido às características do medidor de nível proposto, haveria uma imprecisão considerável na medição de nível, podendo assim apresentar um controle impreciso das válvulas de entrada e saída. Assim sendo, o medidor foi pensado somente para uma medição de nível auxiliar, para que houvesse uma noção aproximada do quão cheias estariam as caixas d'água, possibilitando um monitoramento à distância.

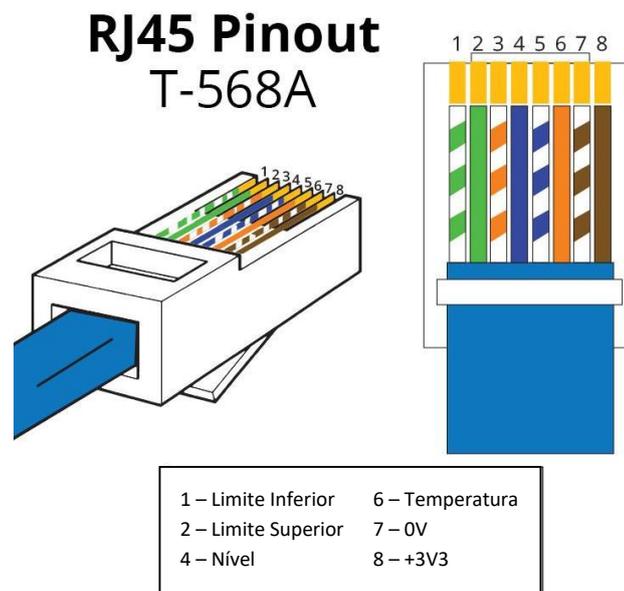
O medidor de nível supracitado foi concebido com uso de um potenciômetro de  $1\text{k}\Omega$  com uma barra roscada fixada à  $90^\circ$  de seu eixo, tendo uma garrafa pet como boia, acoplada na outra ponta da barra. Com a ideia estabelecida, foram modeladas em 3D, usando o programa *Fusion 360*, as peças responsáveis pela fixação das barras ao eixo de cada potenciômetro, da caixa responsável por proteger o potenciômetro, além de suportes responsáveis por fixar os conjuntos em cada caixa. Todas as peças foram impressas em políacido láctico (PLA).

Fazendo testes com o ESP, foi possível notar que a precisão seria o maior obstáculo do sensor. Sabendo que a resistência é uma variável analógica e que seriam usados somente  $\frac{1}{4}$  do curso total do resistor variável entre o valor referente à caixa cheia e vazia, o sensor em questão necessitaria de um conversor analógico digital (ADC) muito preciso. Tendo em vista os aproximadamente 6% de exatidão do conversor analógico-digital do ESP 32 (dado fornecido pela fabricante e testado), foi possível concluir que o medidor de nível de baixo custo construído, da maneira como foi pensado, apresentava uma ineficiência. Mesmo como um medidor secundário, a variação das medições do potenciômetro numa mesma posição fazia o instrumento

ter uma enorme imprecisão. Assim, a medição contínua dos níveis das caixas d'água foi abandonada, deixando somente os medidores de nível discretos (máximo e mínimo) de cada reservatório como parâmetro.

Continuando na parte física do sistema, durante algumas trocas de componente na placa de circuito, foi proposta a fabricação de uma *PCB* própria para o projeto, substituindo a placa de fenolite perfurada que estava sendo usada, além da substituição dos conectores tipo borne dos sensores, para dois conectores RJ45, a fim de facilitar o transporte e eventuais manutenções de cada reservatório. As placas de circuito impresso foram projetadas no *software EasyEDA* e o arquivo gerado foi convertido para que pudessem ser feitas por uma prototipadora CNC. Com isso, os sensores foram soldados em cabos de par trançado para cada caixa, cada cabo com um conector RJ45 na ponta usando o padrão de crimpagem 568A, com um esquema de cores conforme a figura 4.

**Figura 4** – Esquema de cores definido para o cabo trançado



Fonte: Imagem sem fonte conhecida com legenda elaborada pelo autor, 2022.

O par marrom do cabo foi responsável pelo 3,3V e 0V, o par verde pelos sensores de limite inferior e superior e, no caso do reservatório A e o fio laranja foi usado pelo sensor de temperatura. Vale salientar que tanto as válvulas quanto a bomba continuaram fixas na placa, pois são alimentadas com uma tensão mais alta, 12V.

Após as melhorias no *hardware*, foram estudadas possíveis mudanças no código e a criação de um aplicativo para monitoramento das variáveis. Inicialmente, as variáveis temperatura, nível e condutividade eram enviadas para uma página web, em que também era possível alterar os limites das variáveis, como temperatura máxima, nível máximo e mínimo e o limite da condutividade. Existia uma limitação de distância, já que para ter acesso à página, era necessário conectar a uma rede criada pelo próprio microcontrolador. Visando a criação de um aplicativo mais completo e acessível foram analisadas algumas alternativas, como a criação de uma página web ou realmente um aplicativo, criado na plataforma *Android Studio* ou na aplicação do *MIT AppInventor*.

Num primeiro momento, a ferramenta do *MIT* apresentou-se como mais simples e suficientemente boa, considerando a função do aplicativo, mas devido a algumas limitações que o mesmo apresentou, o *Android Studio* foi escolhido. A primeira versão foi criada em uma única tela com dados sobre o nível (ainda havia a intenção de utilizar um medidor de nível, então apresentava a porcentagem de água que ocupava nos recipientes), temperatura, número de reusos, condutividade da água, um texto mostrando o que estava sendo feito no momento, como “Direcionando água de A para B” por exemplo, além de um botão com a função de desligar todas as válvulas. Contudo, faltava comunicar o aplicativo com o próprio ESP, então veio a necessidade de usar uma solução para armazenar as variáveis “na nuvem” de forma que fossem acessadas de qualquer lugar, não somente próximo ao ESP e conectado a uma rede gerada pelo próprio controlador.

Para o armazenamento das variáveis, inicialmente havia sido escolhido o *Firebase*, da *Google*, pois possuía uma integração direta com o *Android Studio* e facilmente implementável em micro controladores que utilizam a *Arduino IDE*, responsável pela programação do ESP e diversos outros microcontroladores. Porém,

logo se mostrou não muito ideal para o uso imaginado, visto que a solução da Google armazena somente dados presentes, servindo apenas como um caminho para a transmissão dos dados do ESP para o aplicativo. Tentou-se criar maneiras de armazenar os dados de tempo em tempo de forma a serem organizadas em uma lista já no *Android Studio*, porém ainda assim haveria de ser necessária a criação de uma função para plotar gráficos no aplicativo, funcionalidade que outras plataformas faziam nativamente. Com isso, foi preferível mudar a plataforma de maneira a dedicar mais esforço na obtenção dos dados do que listar e criar uma função gráfica, escolhendo assim a plataforma *ThingSpeak*, dedicada a esse tipo de aplicação. Criando um canal público referente ao projeto, o envio de dados do microcontrolador foi tão simples como no *Firebase*, já que o mesmo também possuía uma biblioteca para uso no ESP, enquanto no *Android Studio* houve a necessidade de fazer a requisição dos últimos dados através de uma URL e extrair o valor da variável do JSON (*JavaScript Object Notation*) presente na URL. Além disso, com o uso do *ThingSpeak*, foi possível também a criação de uma nova página no aplicativo com um gráfico dos dados dos sensores em relação ao tempo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Com relação ao sensor de nível de baixo custo idealizado, foram realizados testes das leituras analógicas no ESP 32, considerando um potenciômetro estático, de 5 em 5 segundos. Os dados obtidos podem ser conferidos na tabela 1.

**Tabela 1 – Dados obtidos pelo ESP32 de um potenciômetro em uma mesma posição**

Tempo(s)	Valor ADC
0	3089
5	3179
10	3266
15	3162
20	3130
25	3229
30	3058
35	3314
40	3207
45	3233
<b>Média</b>	<b>3187</b>
<b>Maior valor registrado</b>	<b>3314</b>
<b>Menor valor registrado</b>	<b>3058</b>
<b>Intervalo</b>	<b>256</b>

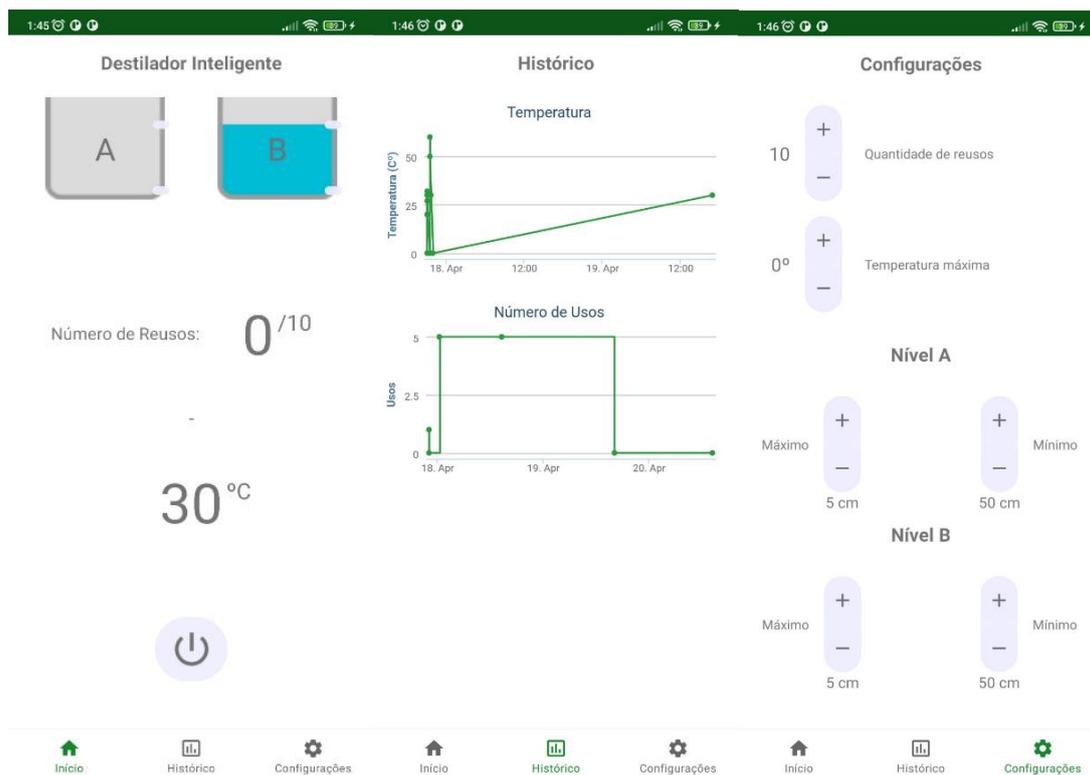
Fonte: Tabela elaborada pelo autor, 2022.

Além do já citado fato que o potenciômetro não seria movimentado em todo o seu curso, o que demandaria uma exatidão maior do ADC, foi notado que, em uma única posição, o potenciômetro indicava diferentes valores, chegando a uma variação, considerando o intervalo entre o menor e o maior valor lido, de 6,25% do valor do fundo de escala do conversor de 11 bits, igual à 4095. Ou seja, considerando que o potenciômetro irá variar exatamente  $\frac{1}{4}$  do seu curso total, sendo 0 o valor lido pelo microcontrolador com o reservatório totalmente vazio e 1023 o valor equivalente à caixa d'água completamente cheia, haveria uma diferença de aproximadamente 10% entre o valor real e o valor medido. Levando tudo isso em consideração, o esforço para fazer com que o medidor de nível apresentasse confiabilidade necessária para uma medição do nível demandou mais tempo que o previsto para algo que, no projeto inicial, já estava abandonado. Posto isso, a ideia foi descartada, porém, pode servir de inspiração para que, havendo continuidade, seja construído um sensor de nível mais robusto para o sistema, além da realização de uma calibração no sensor analógico-digital a fim de diminuir essa variação inerente a ele.

Quanto ao aplicativo, o uso do *Android Studio* se deu principalmente por ser uma ferramenta mais profissional comparada ao *App Inventor*, sendo esse mais voltado à área educacional. Era perfeitamente possível a criação de um aplicativo de monitoramento utilizando o *App Inventor*, porém a liberdade, tanto na construção da interface quanto na programação, oferecidas pelo *Android Studio* o tornaram a escolha ideal. Com ele, foi possível criar uma interface intuitiva e limpa, com todas as variáveis sendo facilmente identificáveis. Também foi possível utilizar das funcionalidades do *Android Studio* para a criação de duas

novas telas, acessíveis por um menu na parte inferior da tela, onde é possível ver o histórico das variáveis temperatura, o número de reusos e também configurar as variáveis limite, como a temperatura máxima que a água do reservatório A pode atingir para que seja escoada para o reservatório B, o número máximo de ciclos de reuso, bem como o nível máximo e mínimo dos reservatórios (mesmo pondo fim ao sensor de nível, ainda é possível alterar essas variáveis caso haja uma futura adição ao sistema). As capturas de tela do aplicativo podem ser encontradas na figura 5.

**Figura 5 – Capturas de tela do aplicativo de monitoramento**



Fonte: Capturas de tela do aplicativo “Destilador Inteligente” realizadas pelo autor, 2022.

É importante também pontuar que, graças ao uso do *ThingSpeak* como banco de dados, foi possível o armazenamento dos dados em listas, servindo como um histórico para caso haja necessidade de, por exemplo, saber em qual hora o ciclo atingiu uma determinada quantidade de reutilização de água, além de ser possível adicionar os gráficos fornecidos pela própria plataforma no aplicativo.

## CONCLUSÕES:

Baseado no sistema de reuso de água para destilador desenvolvido e aprimorado, foi possível concluir que, mesmo com as melhorias já citadas, o dispositivo ainda não apresenta confiabilidade suficiente para um funcionamento a longo prazo. Contudo, o aplicativo e a implementação do banco de dados atenderam às expectativas, mostrando-se suficientemente estáveis para utilização em caso de continuidade do projeto. Foi possível alcançar um resultado desejado ao fazer o aplicativo no Android Studio, de forma a apresentar uma boa interface com usuário e capaz de ser usado em diferentes configurações de caixas d'água, devido aos ajustes que podem ser feitos direto no app. Além disso, a aplicação já possui suporte a um medidor de nível constante, possibilitando seu uso sem muitas modificações na programação ou interface. Uma possível melhoria seria a função de alterar o link do canal do ThingSpeak no próprio aplicativo, sendo possível utilizá-lo em diversos destiladores sem a necessidade de alterar o código-fonte.

Mesmo não se mostrando suficientemente preciso para o uso no projeto final, o medidor de nível de baixo custo serviu como aprendizado tanto sobre o funcionamento do conversor analógico-digital do ESP como para futuros sensores de medição de nível contínuo. É possível pensar na construção de algo mais robusto, com uma caixa de redução no eixo do potenciômetro, por exemplo, para que o sensor atue em toda

a faixa do potenciômetro ou pensar numa calibragem do ADC, aumentando assim sua precisão. Outra solução, porém, mais custosa, seria o uso de sensores de nível industrial, que são mais resistentes e estáveis, aumentando sua vida útil e confiabilidade.

Como futuras melhorias, seria interessante a criação de uma versão do aplicativo para web, pois assim o mesmo pode ser acessado tanto em computadores quanto em dispositivos iOS. Outra melhoria seria no destino final da água imprópria para ser reutilizada no processo de destilação, visto que ela ainda pode ser usada em outras finalidades, por exemplo na lavagem das vidrarias do laboratório, como mostrado por DA SILVA e colaboradores (2012). Além disso, caso o projeto se mostre confiável o suficiente para se tornar parte do laboratório, seria ideal a divulgação dos códigos-fonte, além dos arquivos do esquemático da placa e modelos 3D, para que outras instituições de ensino possam replicá-lo em seus laboratórios de química.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARANALES, Maria do Carmo. **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.

BELTRAN, Maria Helena Roxo. **Destilação: a arte de “extrair virtudes”**. Química nova na escola, v. 4, p. 24-27, 1996.

DA SILVA, M.; DA SILVA, K.S.; ANGELINI, L.P.; DE OLIVEIRA, A.P. **Reuso da água de refrigeração de destiladores para lavagem de vidrarias em laboratórios de ensino do IFMT campus Cuiabá Bela Vista**. Instituto Brasileiro de Estudo Ambientais. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia. 2012.

DE AGUIAR, M.B; LOPES, C.P.L; DIAS, E.T.; SILVA, D.; PEIXOTO, M.C.P.G. **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.

DE FARIA, A.C; CAMARGO, C.D; SANTOS, L.F.C; FERREIRA, R.V; JUNIOR, W.A.D. **Sistema automatizado de reuso de água para o destilador dos laboratórios de química**. IX Seminário de Iniciação Científica do IFMG – 07 a 09 de julho de 2021, Planeta IFMG. Betim, 2021. Disponível em:

<https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-anteriores/resumos-2021/engenharias/sistema-automatizado-de-reuso-de-agua-para-o-destilador-dos-laboratorios-de-quimica.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2022

ESPRESSIF SYSTEMS CO. **ESP32: Series Datasheet**. Xangai, China: 2022. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf). Acesso em: 24 abr. 2022.