

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CLEVER HIPOLITO MARTINS

**CONTROLE AUTOMÁTICO E MONITORAMENTO DE
TEMPERATURA EM LANÇAMENTO DE
EFLUENTES UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**

**FRANCISCO BELTRÃO
2021**

CLEVER HIPOLITO MARTINS

**CONTROLE AUTOMÁTICO E MONITORAMENTO DE
TEMPERATURA EM LANÇAMENTO DE
EFLUENTES UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**

**AUTOMATIC CONTROL AND MONITORING OF TEMPERATURE IN
WASTEWATER DISCHARGE
USING THE ARDUINO PLATFORM**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharias – DAENG – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Químico.

**Orientador: Prof. Dr. Douglas da Costa
Ferreira**

**FRANCISCO BELTRÃO
2021**

CLEVER HIPOLITO MARTINS

**CONTROLE AUTOMÁTICO E MONITORAMENTO DE
TEMPERATURA EM LANÇAMENTO DE
EFLUENTES UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso para
Obtenção do título de Engenheiro
Químico pela Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Câmpus Francisco
Beltrão.

Data de aprovação: 21 de maio de 2021

Douglas da Costa Ferreira

Engenharia Mecânica (Pós-Doutorado)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jonas Joacir Radtke

Métodos Numéricos em Engenharia (Doutorado)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Wagner da Silveira

Engenharia dos Materiais (Mestrado)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO
2021

Dedico a minha família pelo amor incondicional.

RESUMO

A principal forma de descarte de efluentes industriais é seu direcionamento para corpos hídricos, os quais ocasionam impactos, tais como ambientais. Para controle desses impactos existem normas e leis que estabelecem padrões para lançamento de efluentes, como controle de O₂, DQO, DBO, pH, temperatura, dentre outros. Como mencionado, um dos parâmetros regulamentados para lançamento de efluentes, é a temperatura, no qual, em geral, o controle e análise desta variável é realizada de uma forma manual na maior parte das Indústrias. A proposta do presente trabalho é construir e avaliar um protótipo de controle de temperatura de lançamento de efluentes utilizando a plataforma Arduino, avaliando seu comportamento em relação às condições de contorno exigidas pela legislação ambiental. O protótipo apresentou bons resultados, com uma boa precisão de abertura e fechamento da válvula, sendo que, o fechamento da válvula apenas se sucedeu, quando o líquido (efluente) ultrapassou 40 °C, a variação de temperatura no corpo receptor não foi significativa.

Palavras-chave: controle de processos; indústria de processos; temperatura; impactos ambientais; legislação ambiental; arduino.

ABSTRACT

The main form of disposal of industrial effluents is their direction to water bodies, which cause impacts, such as environmental impacts. To control these impacts there are norms and laws that establish standards for effluent discharge, such as control of O₂, COD, BOD, pH, temperature, among others. As mentioned, one of the parameters regulated for effluent discharge is temperature, in which, in general, the control and analysis of this variable is done manually in most industries. The proposal of the present work is to build and evaluate a prototype of temperature control for effluent discharge using the Arduino platform, evaluating its behavior in relation to the boundary conditions required by the environmental legislation. The prototype presented good results, with a good precision of opening and closing of the valve, and the valve closing only happened when the liquid (effluent) exceeded 40 °C, the temperature variation in the receptor body was not significant.

Keywords: process control; process industry; temperature; environmental impacts; environmental legislation; arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição da população vivendo em áreas urbanas, 1960 a 2017.....	13
Figura 2 – Diagrama de blocos de um sistema de automação.	16
Figura 3 – Esquema ilustrativo do protótipo.....	19
Figura 4 – Sensor de temperatura modelo DS18B20 a prova d'água.....	21
Figura 5 – Módulo relé	22
Figura 6 – Arduino Uno R3.	23
Figura 7 – Estrutura física do protótipo.	24
Figura 8 – Alimentação de líquido (efluente) a temperatura ambiente.....	25
Figura 9 – Acréscimo de líquido aquecido a 100 °C.....	26
Figura 10 - Sensor DS18B20.	27
Figura 11 – Gráfico de temperatura de líquido (efluente) em função do tempo de experimento.....	28
Figura 12 - Gráfico de variação de temperatura do corpo hídrico em função do tempo.....	29
Figura 13 - Temperatura do efluente e corpo hídrico durante o processo.	29
Figura 14 – Taxas de acréscimo de temperatura em função do tempo de experimento.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sensores disponíveis no mercado.....	12
Tabela 2 – Materiais necessários para construção do protótipo.....	20
Tabela 3 – Dados dos experimentos.	32

LISTA DE SIGLAS

ANA Agência Nacional de Águas

CEMA Conselho Estadual do Meio Ambiente

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

EUA Estados Unidos da América

SEMA Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1	Recursos hídricos.....	12
3.2	Efluentes industriais.....	13
3.3	Legislação ambiental.....	14
3.4	Impactos ambientais.....	14
3.5	Sistemas de controle e automação.....	15
3.5.1	Instrumentação de controle.....	16
3.5.2	Sensores e variáveis de controle.....	17
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
4.1	Caracterização da pesquisa.....	18
4.2	Descrição da parte experimental.....	18
4.3	Componentes utilizados no experimento.....	20
4.4	Sensoriamento.....	21
4.5	Controle do processo.....	21
4.6	Monitoramento.....	22
4.8	Tratamento de dados.....	24
4.9	Estrutura física do protótipo.....	24
5	RESULTADOS.....	25
5.1	Variação de temperatura do efluente e do corpo hídrico.....	25
5.2	Variação de temperatura do corpo hídrico.....	28
5.3	Variação de temperatura do efluente e corpo hídrico ao longo do processo.....	29
5.4	Fechamento da válvula paras condições de contorno.....	30
5.4.1	Temperatura do efluente inferior a 40 °.....	30
5.4.2	Temperatura do ponto de mistura inferior a 3 °C.....	31
5.5	Dados de temperatura e duração de tempo que a válvula permanece aberta e fechada.....	31
5.6	Tempo de resposta, perfil de temperatura e tempo que a válvula permanece aberta e fechada.....	32
6	CONCLUSÃO.....	33

REFERÊNCIAS.....	34
APÊNDICE A – Código de programação do protótipo.....	37

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), no ano de 2018, as indústrias brasileiras corresponderam a uma média anual de 9,6% da demanda nacional de água. Esta porcentagem equivale a uma estimativa de 195,6 m^3/s , deste total, 105,1 m^3/s são utilizados para consumo e 90,5 m^3/s são retornados a corpos hídricos, que corresponde a porção dos efluentes industriais, a qual representa uma enorme quantidade (BRASIL, 2018).

Efluente industrial corresponde ao despejo líquido proveniente de um dado processo produtivo. As propriedades do efluente industrial se modificam de acordo com as características de cada indústria, dentre as propriedades que estão diretamente ligadas, destacam-se, composição, volume, concentração e temperatura (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2009).

Com a diversidade das características dos efluentes industriais, devido à variedade de indústrias existentes, há uma variabilidade grande de contaminantes, deste modo se faz necessário determinação de padrões, parâmetros, requisitos e diretrizes para lançamento de efluentes em corpos hídricos, os quais são regulamentados pelo CONAMA.

Dentre as principais variáveis regulamentadas pelo CONAMA, que serve como indicador para determinação da qualidade da água, temos: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, fósforo total, turbidez, dentre outros (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2009).

O CONAMA regulamenta que a temperatura de lançamento de efluentes em corpos hídricos, tem que ser inferior a 40 °C, não podendo variar mais que 3 °C no corpo receptor. O monitoramento desta variável, dentre outras, é realizado de uma forma manual. Uma forma de otimizar este monitoramento, baseia-se em técnicas de sistema de controle e automação, técnicas que surgiram no começo do século XVIII, com a necessidade das indústrias atenderem uma maior produção, devido ao crescimento exponencial da população mundial. Com isto a produção artesanal começou a ser substituída por uma produção em massa, na qual passou a consistir em uma linha contínua de montagem (BENNETT, 1993).

Atualmente as técnicas de controle e automação possuem relevância para diversas indústrias, dentre elas, química, petroquímica, papel, celulose, alimentícia,

farmacêutica, têxtil, entre outras (GARCIA, 2017). A dependência destas indústrias é tal que, sem sistemas de controle de processos baseados em computadores, não conseguiria operar as plantas químicas atuais, de uma forma segura e rentável (SEBORG, 2010).

A principal função destes métodos é avaliar e realizar a manutenção de variáveis de relevância para o processo, dentre os quais podemos destacar: temperatura, pressão, vazão, composição, pH, entre outros. Uma das principais variáveis de processo usadas no controle e automação de uma planta industrial, é a vazão de líquidos, pois se trata de uma variável possível de se manipular. As alterações nesta variável, provocam alterações em outras variáveis de interesse, atingindo o objetivo desejado, de acordo com o processo (SEBORG, 2010).

Dentro do contexto apresentado, o presente trabalho tem como objetivo, desenvolver um protótipo de controle automático de temperatura, juntamente com monitoramento desta variável, para um sistema de lançamento de efluentes. As condições de contorno estabelecidas se baseiam na regulamentação imposta pelo CONAMA para lançamento de efluentes em corpos hídricos. A funcionalidade do protótipo se baseará no processador, que irá obedecer aos comandos inseridos na plataforma Arduino. A finalidade deste trabalho foi avaliar a capacidade do protótipo em manter as condições de contorno ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Construir e avaliar o protótipo de um sistema automático de controle de temperatura utilizando a plataforma Arduino, que será utilizado no lançamento de efluentes em corpos hídricos

2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja atendido, os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- i Determinar os elementos de contorno do projeto;
- ii Selecionar os equipamentos e instrumentos de medição necessários para a construção do protótipo;
- iii Construir e avaliar o protótipo;
- iv Coletar dados de tempo de resposta e precisão de abertura e fechamento da válvula;
- v Coletar dados de temperatura e duração de tempo que a válvula permanece aberta e fechada;
- vi Concluir sobre o protótipo avaliado nos aspectos de precisão de abertura e fechamento da válvula, tempo de resposta, perfil de temperatura e tempo que a válvula permanece aberta e fechada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Recursos hídricos

Segundo dados do *AQUASTAT*, no ano de 2017, o Brasil consumiu aproximadamente 14995 bilhões de metros cúbicos de água, sendo, que esse consumo é dividido em três categorias principais: agricultura, indústrias e consumo urbano. No qual as quantias de água podem ser subdivididas em: retirada, consumo e retorno. A retirada representa a porção de água captada para uso e retorno representa a porção de água que será descartada em corpos hídricos.

A distribuição destas categorias no Brasil, no ano de 2018, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Demanda de água por finalidade no Brasil em 2018.

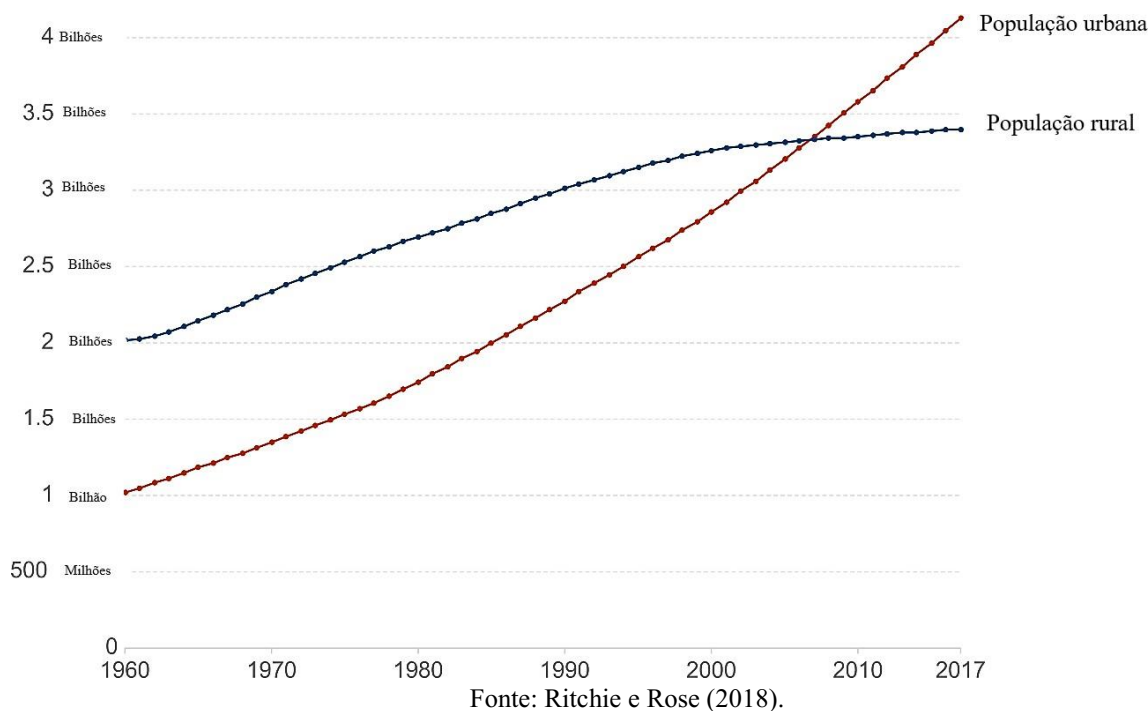
Setores	Retirada de água (m^3/s)	Consumo de água (m^3/s)	Retorno de água (m^3/s)
Irrigação	1019,9	728,1	291,8
Abastecimento urbano	500,6	100,1	400,5
Indústria	195,6	105,1	90,5
Abastecimento rural	33,8	27,1	6,8
Mineração	34,5	10,1	24,4
Termelétrica	92,7	2,9	89,8
Uso animal	170,8	128,0	42,8

Fonte: Adaptado de ANA (2019).

Segundo ANA, a demanda de água no Brasil possui um aumento gradativo, tendo um acréscimo de 80% no total de água utilizado nas duas últimas décadas, com uma previsão de aumento de 26% até o ano de 2030.

O crescimento de demanda de água está diretamente ligado ao desenvolvimento econômico e urbanização do país, esta é uma tendência mundial, que se deu início em meados da década de 1960, com o advento da revolução industrial, no qual a população mundial que predominantemente vivia nas zonas rurais, passou a migrar para os centros urbanos. É apresentado na Figura 1, a distribuição da população entre áreas rurais e urbanas, entre os anos de 1960 a 2017.

Figura 1 – Distribuição da população vivendo em áreas urbanas, 1960 a 2017.



É possível observar de acordo com a Figura 1, que ao decorrer dos anos, a população mundial passou de ser predominantemente rural a urbana. Fator que explica o consumo de água.

3.2 Efluentes industriais

Os efluentes líquidos são provenientes dos mais variados processos de industrialização, isto gera uma grande diversidade de efluentes, podendo haver variância em indústrias do mesmo setor, dentre as variáveis que sofrem variação, destacam-se composição e concentração (NUNES, 2012).

Os efluentes líquidos provenientes da indústria, ao decorrer dos anos, têm-se mostrado um relevante colaborador na degradação ambiental. O primeiro país a realizar uma ação de controle sobre este problema foi os Estados Unidos, implementando em 1972 o programa *Clean Water Act*, plano que regularizava controle da poluição em corpos hídricos. Seguindo o exemplo, anos mais tarde em meados da década de 1970, o Brasil redigiu seu primeiro decreto a respeito de lançamento de efluentes em corpos hídricos (MIERZWA, 2002; SMITH, 2003).

3.3 Legislação ambiental

A nível federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), é a entidade responsável por regulamentar as condições e padrões de lançamento de efluentes, sendo a Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011, a resolução que está atualmente em vigor, no qual regulamenta valores e parâmetros de: pH, temperatura, vazão, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), compostos inorgânicos e orgânicos, dentre outros (BRASIL, 2011).

A respeito das condições de lançamento de efluentes em relação a temperatura, a Resolução n° 430, determina:

- Art. 16: Temperatura inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3 °C no limite de zona de mistura.

Apesar do estado do Paraná possuir uma legislação própria sobre lançamento de efluentes em corpos hídricos, regida pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) e pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), através da Resolução SEMA n° 21 de 22 de abril de 2009 e Resolução Cema n° 70 de 1 de outubro de 2009, as resoluções não determinam condições de lançamento a respeito da temperatura, sendo assim, fica em vigor a Resolução n° 430 do CONAMA (MORAES E DOS SANTOS, 2017).

3.4 Impactos ambientais

O limite de temperatura de lançamento de efluentes em corpos hídricos é necessário, pois, a temperatura possui relevância na qualidade da água e no meio aquático dos animais. Segundo Jian, Cheng & Chen (2003), a temperatura da água é uma das variáveis de mais relevância no meio hídrico, podendo afetar diretamente o metabolismo dos organismos aquáticos, em consequência o consumo de oxigênio, desenvolvimento e sobrevivência destes organismos.

3.5 Sistemas de controle e automação

Os sistemas de controle e automação surgiram com o advento da revolução industrial, no qual Ferreira (2001), descreve este acontecimento como mecanização da produção, que antes era totalmente manufatura, com essa mecanização dos equipamentos, surgiu a necessidade de instrumentos de medição e controle de variáveis, que não era mais possível ser realizada manualmente (VILLAÇA; SILVEIRA, 2013).

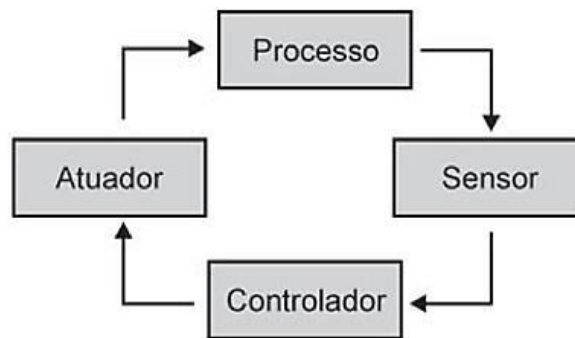
Durante o século XIX e começo do século XX, a instrumentação de controle e automação era utilizada ocasionalmente nas plantas das indústrias, porém, entre as décadas de 1920 e 1930, estes instrumentos tiveram um aumento significativo e começaram a ser amplamente usados pelas indústrias de processos, sendo os Estados Unidos da América (EUA) os pioneiros na produção de instrumentação (BENNETT, 1993). O surgimento desse tipo de instrumentação no Brasil ocorreu em meados da década de 1980 (BASTOS, 1998).

Sistemas de controle e automação estão particularmente conectados, segundo Ribeiro (2001), a primeira definição a ser aplicada em um sistema de automação foi de “controle automático de processo”, no qual entende por automação a inserção de novas técnicas de controle em um processo (SILVEIRA, 2009).

A finalidade de sistemas de controle e automação, segundo Dorf; Bisho (2001) é otimizar a produção, dentre os parâmetros que podem ser otimizados, podemos citar, menor custo, maior quantidade, menor tempo e melhor qualidade. Esta otimização é realizada por sistemas interligados capazes de atuar em um intervalo de tempo pequeno, utilizando as informações recebidas do meio que atua (SILVEIRA, 2009).

É apresentado na Figura 2, um diagrama de blocos de um sistema de automação, no qual, qualquer sistema de automação necessita possuir estes elementos básicos.

Figura 2 – Diagrama de blocos de um sistema de automação.



Fonte: Silveira (2009).

Sendo sensor o elemento primário do sistema, instrumento sensível ao fenômeno físico, controlador é o cérebro do sistema de controle, atuadores são dispositivos a serem acionados para executarem determinada ação.

3.5.1 Instrumentação de controle

A principal diferença entre as instrumentações de controle está no sinal transmitido na saída, dentre os possíveis sinais que podem ser usados em sistemas de controle, tem-se: pneumático, analógico e digital.

Até a década de 1960, as indústrias usavam majoritariamente sistemas baseados em sinal pneumático, princípio baseado em alimentação de ar que através de sistemas mecânicos eram convertidos em sinais, porém, surgiu a necessidade de transmitir sinais que alcançasse uma distância maior, desde modo, surgiu as instrumentações baseados em sistemas eletrônicos (SEBORG, 2010).

Durante um amplo período de tempo, a instrumentação analógica serviu bem ao propósito de controle de sistemas de produção, sendo que até os dias atuais, algumas indústrias ainda possuem esse tipo de instrumentação. Porém, alguns fatores levaram a maior parte das indústrias de processos trocarem a instrumentação analógica pela digital. Dentre os fatores, pode-se citar: desempenho do sistema em termos de precisão e maior capacidade computacional, maior capacidade de manipulação e armazenamento de dados, dados de operação medidos e exibidos com maior informação (NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al., 1997).

3.5.2 Sensores e variáveis de controle

Sensores são importantes para a indústria de processos, no qual se caracterizam como elementos básicos necessários para que ocorra automatização, no qual, Silveira (2009), define sensor como um dispositivo suscetível a fenômenos físicos, temperatura, pressão, umidade, entre outros.

Os sensores utilizados nas indústrias, podem ser classificados em sensores de contato e sensores de proximidade. Para o funcionamento em sensores de contato é necessário que uma força seja exercida entre o sensor e o objeto de análise, para que ocorra a detecção, essa força é exercida por um dispositivo eletromecânico, que abre e fecha conexões elétricas. Em sensores de proximidade, a detecção do objeto de interesse é realizada pela proximidade entre o objeto e o sensor, existindo cinco tipos existentes deste princípio: indutivo, capacitivo, ultrassônico, fotoelétrico e efeito Hall (Moraes e Castrucci, 2010).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Caracterização da pesquisa

Este projeto de pesquisa se caracteriza como um estudo experimental, que trata de um projeto de automação de um sistema de lançamento de efluentes em corpos receptores d'água.

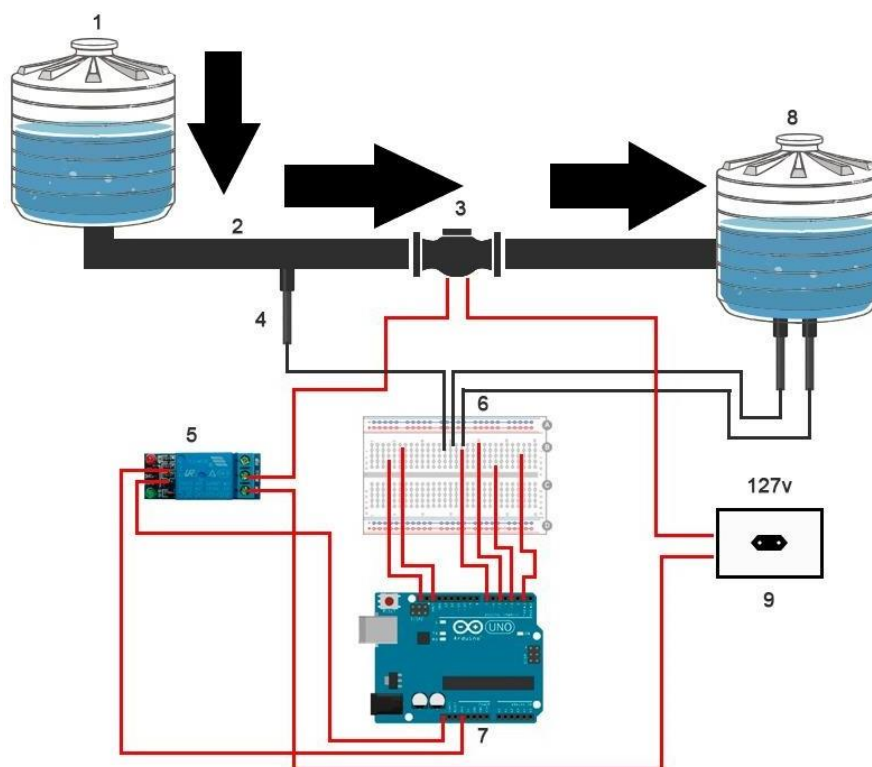
Os dados de pesquisa são primários e secundários, sendo os dados secundários advindos da legislação ambiental e os dados primários obtidos:

- i Temperatura do líquido;
- ii Tempo de resposta do sensor;
- iii Tempo de abertura e fechamento da válvula.

4.2 Descrição da parte experimental

O experimento realizado nesse projeto de pesquisa teve como intenção avaliar um sistema de controle de vazão por diferença de temperatura. O protótipo foi construído conforme é ilustrado na Figura 3:

Figura 3 – Esquema ilustrativo do protótipo.



Fonte: Autoria própria (2021).

Em que os componentes são identificados a seguir:

- 1 Recipiente de entrada;
- 2 Tubulação de PVC;
- 3 Válvula solenoide;
- 4 Sensor de temperatura;
- 5 Relé 5V;
- 6 *Protoboard*;
- 7 Placa Arduino;
- 8 Recipiente de saída;
- 9 Rede Elétrica 127 V

O funcionamento do experimento se conduzirá da seguinte forma:

- i No recipiente mostrado na Figura 3, será introduzida água no recipiente de entrada (componente 1), como líquido;

- ii O sensor de temperatura (componente 2), antes da válvula, verifica e faz a medição de temperatura que o líquido possui naquela posição do sistema;
- iii Os dados de temperatura são enviados para o Arduino (componente 7);
- iv O sensor de temperatura depois da válvula verifica e faz a medição de temperatura que o líquido possui naquela posição do sistema;
- v O relé (componente 5) faz com que a válvula (componente 3) abra ou feche de acordo com as condições estabelecidas;
- vi Os sensores de temperatura conectados ao recipiente de saída (componente 8), fazem a medição de temperatura do corpo receptor, sendo que o primeiro sensor faz a leitura de temperatura do corpo receptor e define a temperatura do corpo receptor antes do lançamento de líquido, e o segundo sensor realiza a leitura do corpo receptor a cada dois segundos, tendo como limite a leitura do primeiro sensor, com uma adição de até 3 °C, condição de contorno para o corpo receptor, se o sistema detectar que a condição de contorno foi desrespeitada, o relé (componente 5), irá enviar um sinal para que a válvula se feche.

4.3 Componentes utilizados no experimento

A escolha dos componentes a serem utilizados para a construção do protótipo, levou em consideração alguns fatores, sendo o principal custo-benefício. A escolha do material e as dimensões necessárias para a construção do protótipo foram escolhidas de acordo com o trabalho de Dias (2014). No qual, o diâmetro nominal escolhido foi de 19,0 mm e o diâmetro da garganta de 17,0 mm.

É listado na Tabela 3, a lista de materiais necessários para a construção do protótipo.

Tabela 3 – Materiais necessários para construção do protótipo.

Materiais
PVC
Válvula solenóide de entrada de água - 180° 3/4" x 3/4"
Uno R3 + Cabo Usb para Arduino
Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água

Fonte: Autoria própria (2020).

4.4 Sensoriamento

Para ser realizado o sensoriamento do protótipo de controle de vazão por diferença de temperatura, foram utilizados dois sensores de temperatura.

O sensor de temperatura utilizado, foi o modelo, DS18B20 a prova d'água, que é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Sensor de temperatura modelo DS18B20 a prova d'água.



Fonte: Eletrogate (2021).

A ficha técnica do sensor descrito, é listado a seguir:

- Tensão de operação: 3-5,5V;
- Faixa de medição: -55°C a +125°C;
- Precisão: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C e +85°C;
- Ponta de aço inoxidável;
- Dimensão ponta de aço: 6 x 50 mm;
- Dimensão do cabo: 100 cm;
- Interface de 1 fio.

4.5 Controle do processo

Com o objetivo de controlar o processo, mantendo os padrões de temperatura, é adicionado um módulo relé ao sistema, ilustrado na Figura 4.

Figura 5 – Módulo relé.



Fonte: Eletrogate (2020).

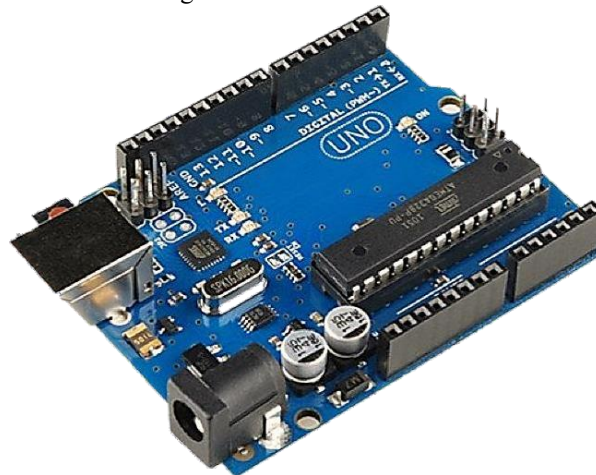
A ficha técnica do módulo relé é apresentada a seguir:

- Tensão de operação: 5V DC (VCC e GND)
- Tensão de sinal: TTL - 5V DC (IN)
- Corrente típica de operação: 15~20mA
- Capacidade do relé: 30 V DC e 10A ou 250V AC e 10A
- Tempo de resposta: 5~10ms
- Dimensões: 43mm (L) x 17mm (C) x 19mm (H)

4.6 Monitoramento

As informações e monitoramento de dados foram realizados pelo microprocessador Arduino, modelo Uno R3, ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Arduino Uno R3.



Fonte: Eletrogate (2020).

A ficha técnica do microprocessador Arduino é apresentada a seguir:

- Microcontrolador: ATmega328;
- Tensão de Operação: 5V;
- Tensão de Entrada: 7-12V;
- Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM);
- Portas Analógicas: 6;
- Corrente Pinos I/O: 40mA;
- Corrente Pinos 3,3V: 50mA;
- Memória Flash: 32KB (0,5KB usado no bootloader);
- SRAM: 2KB;
- EEPROM: 1KB;
- Velocidade do Clock: 16MHz.

Para o microprocessador Arduino monitorar e salvar os dados do processo, foi necessário a implementação do código do processo na plataforma Arduino. Com a finalidade da implementação do código, é necessário a inserção de algumas bibliotecas, com o intuito de auxiliar a execução das tarefas programadas, além da estruturação parâmetros relevantes e determinação de variáveis globais.

O Arduino opera de acordo com duas funções principais na implementação do software, os quais são: *Setup* e *Loop*. A função *Setup* corresponde a configuração do programa, desempenha o papel de informar ao microprocessador, parâmetros de interesse e inicializar determinadas funções. A função *Loop* refere-se a uma função recursiva, qual

tem a finalidade no momento que a execução do programa termina, ela reinicia o processo de acordo com o tempo programado (DIAS, 2014).

4.8 Tratamento de dados

Os dados de interesse que foram armazenados pelo microprocessador são: a) Temperatura; b) duração de tempo que a válvula permanece aberta e fechada; c) precisão de abertura e fechamento da válvula e d) tempo de resposta para abertura e fechamento da válvula. Os dados foram mostrados na tela da plataforma Arduino, na função *monitor serial* e gravados internamente.

4.9 Estrutura física do protótipo

Como mencionado anteriormente, a escolha dos materiais que compõem a estrutura física do protótipo, levou se em conta alguns fatores, sendo o principal custo do material. É apresentado na Figura 7, o protótipo montado.

Figura 7 – Estrutura física do protótipo.



Fonte: Autoria própria (2021).

5 RESULTADOS

A seguir são apresentados os dados coletados durante a análise de abertura e fechamento da válvula de vazão de acordo com a variação de temperatura do líquido de entrada e líquido do corpo receptor. Foram utilizados como parâmetros de controle, o que é determinado pela legislação vigente:

- i Temperatura máxima de 40° C do efluente;
- ii Diferença de temperatura máxima de 3° C no ponto de mistura, junção entre o efluente e o corpo hídrico.

5.1 Variação de temperatura do efluente e do corpo hídrico

A configuração utilizada para análise foi uma alimentação de líquido (efluente), primeiramente a temperatura ambiente, que no dia do experimento possuía um valor igual a 24 °C e posteriormente, a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9 respectivamente. É ilustrada na Figura 8, a injeção de líquido (efluente), a temperatura ambiente.

Figura 8 – Alimentação de líquido (efluente) a temperatura ambiente.



Fonte: Autoria própria (2021).

A alimentação de líquido (efluente) a temperatura ambiente, durou apenas alguns segundos, com o intuito de comprovar a condição de contorno estabelecida, no qual

define que a temperatura de líquido (efluente) deve ser inferior ou igual a 40 °C, constatando que a premissa foi confirmada, e que a válvula permaneceu aberta, permitindo assim a passagem de líquido (efluente).

É ilustrado na Figura 8, a injeção de líquido (efluente) aquecido, a uma temperatura de 100 °C, ponto de ebulição da água.

Figura 9 – Acréscimo de líquido aquecido a 100 °C.



Fonte: Autoria própria (2021).

O líquido aquecido a 100 °C é despejado no reservatório do efluente, com o intuito de comprovar a premissa do fechamento da válvula, ao atingir uma temperatura superior a 40 °C, a condição foi confirmada, impedindo deste modo a passagem de líquido (efluente). É ilustrado na Figura 10, o sensor DS18B20, instrumento responsável pela medição de temperatura.

Figura 10 - Sensor DS18B20.

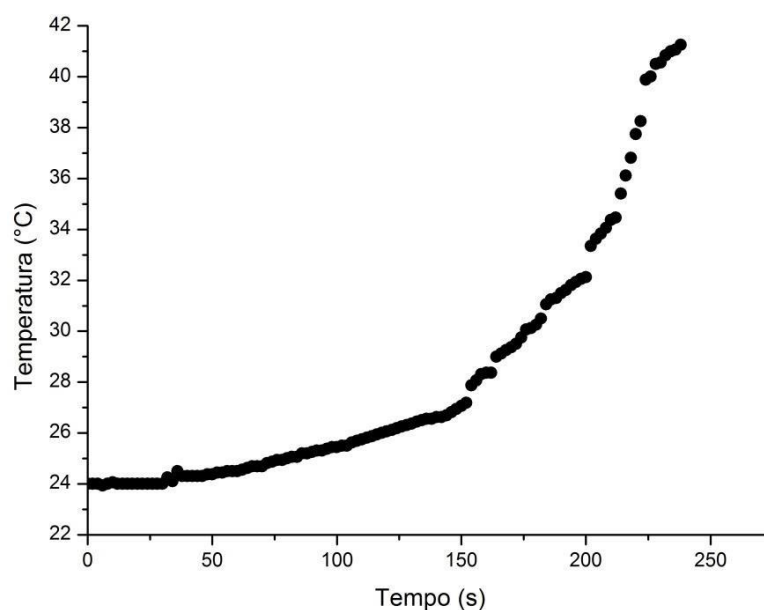


Fonte: Autoria própria (2021).

A medição de temperatura no recipiente do efluente é realizada por meio do sensor DSB1820 com precisão de $\pm 0,5$ °C em uma faixa de operação entre -10°C e $+85^{\circ}\text{C}$ conforme ilustrado na Figura 10.

O experimento foi realizado conforme descrito anteriormente, e a temperatura de líquido (efluente) atingir a condição de um valor superior a 40 °C. A variação de temperatura de líquido (efluente) ao decorrer do tempo do experimento é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Gráfico de temperatura de líquido (efluente) em função do tempo de experimento.



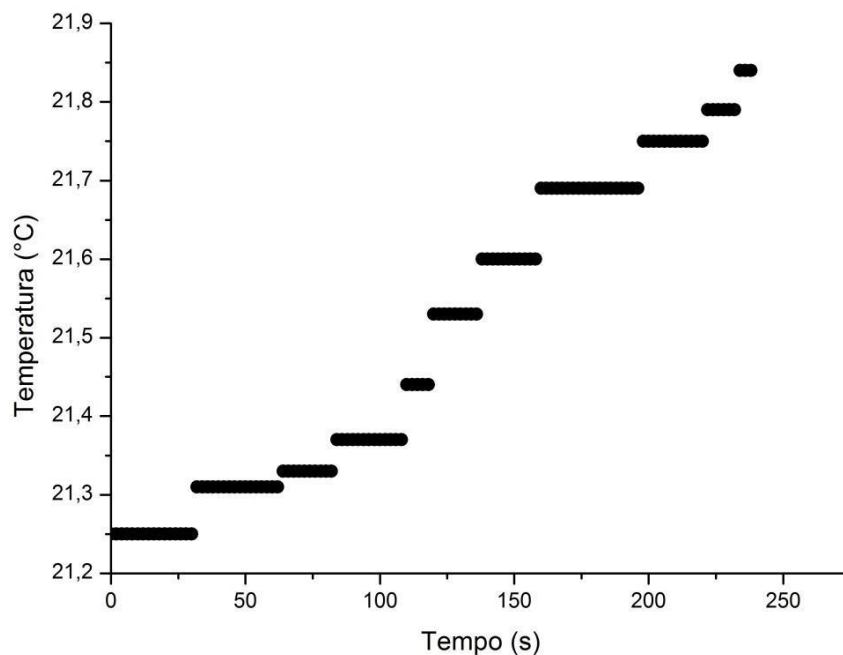
Fonte: Autoria própria (2021).

Como pode ser observado, a temperatura inicial do líquido efluente, do item 01 da Figura 04, tinha uma temperatura inicial 24,00 °C e foi sendo aquecido até 40,31 °C, tendo um comportamento linear de aumento de temperatura, até aproximadamente um tempo igual a 150 segundos de experimento, e posteriormente, tendo um aumento exponencial na temperatura do líquido do efluente função do tempo de experimento, isto se deve ao fato, de no começo do experimento, a alimentação de água encontrava-se a temperatura ambiente, posteriormente, foi sendo adicionada água aquecida na alimentação, a uma temperatura aproximada de 100 °C, é possível observar na Figura 10, que o acréscimo de temperatura tende a continuar, até atingir uma temperatura próxima a 100 °C.

5.2 Variação de temperatura do corpo hídrico

A variação de temperatura do corpo hídrico em função do tempo do experimento é apresentada na Figura 10.

Figura 12 - Gráfico de variação de temperatura do corpo hídrico em função do tempo.



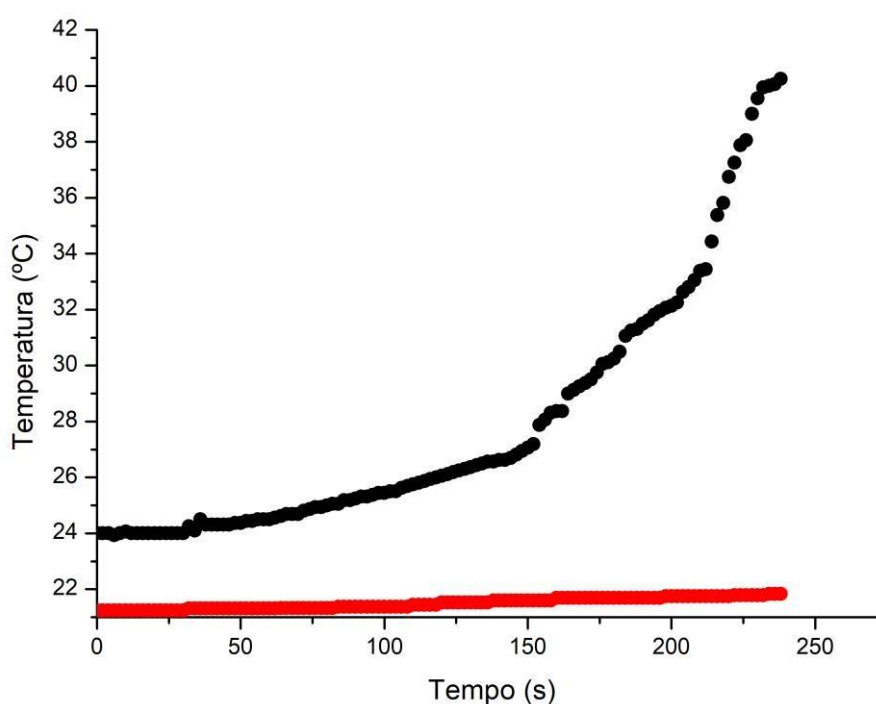
Fonte: Autoria própria (2021).

Como pode ser observado, a temperatura inicial do líquido do corpo hídrico, do item 10 da Figura 08, tinha uma temperatura inicial 21,25 °C e ao término da simulação atingiu uma temperatura final e máxima de 21,84 °C.

5.3 Variação de temperatura do efluente e corpo hídrico ao longo do processo

Como já citado anteriormente, os parâmetros de controle são: 1. A temperatura máxima do efluente não pode ultrapassar 40 °C e 2. A diferença de temperatura no corpo hídrico não pode ultrapassar 3 °C, sendo que os dois requisitos foram obtidos em uma simulação que durou 238 segundos. É apresentado na Figura 13, o gráfico de temperatura do efluente e temperatura do corpo hídrico durante o processo.

Figura 13 - Temperatura do efluente e corpo hídrico durante o processo.



Fonte: Autoria própria (2021).

É possível observar que a temperatura do efluente, representado pela curva na cor preta, foi mais suscetível ao aumento de temperatura, do que em relação à temperatura

do corpo hídrico, representado pela curva na cor vermelha, uma das razões é que a alimentação do efluente se dá por meio da gravidade, ou seja, o tanque de alimentação está em um nível superior à tubulação, embora esta seja a melhor opção em relação custo-benefício, a alimentação possui uma vazão pequena, devido a este fator há um decréscimo de tempo entre os sensores, este decréscimo de tempo faz com que a temperatura do efluente perdesse temperatura através de convecção térmica entre o efluente e a tubulação.

Outro fator responsável pelo gradiente entre as temperaturas do efluente e o corpo hídrico, é devido o corpo receptor possuir um nível de água já existente, este fator faz com que o ponto de mistura tenha uma troca térmica, entre o efluente e o corpo receptor, até que atinja o equilíbrio térmico.

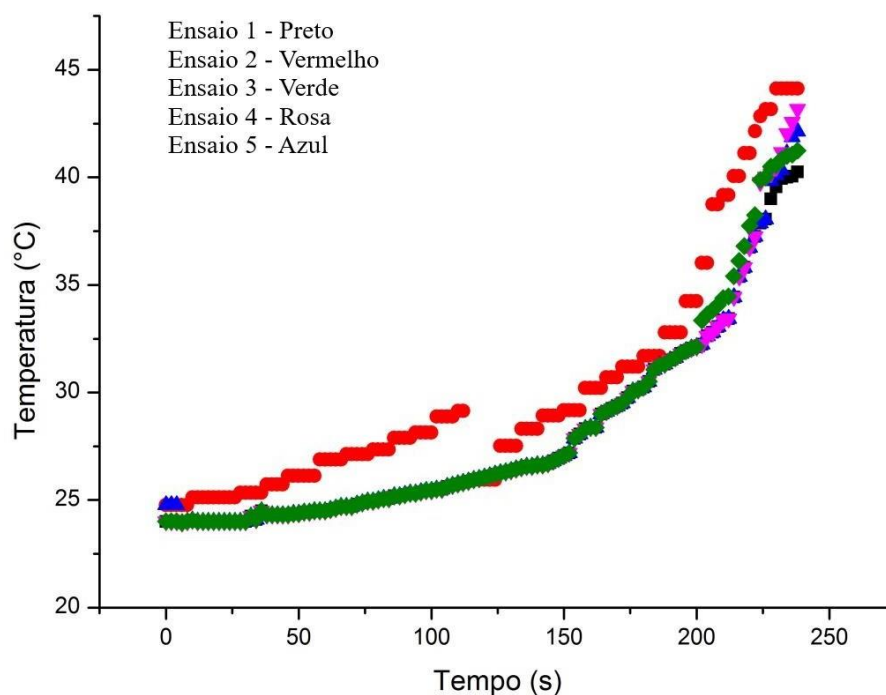
5.4 Fechamento da válvula paras condições de contorno

5.4.1 Temperatura do efluente inferior a 40 °

Para a premissa, foram realizados 5 ensaios, sendo que em todos eles, a válvula fechou assim que a temperatura de líquido (efluente) ultrapassou 40 °, tendo uma pequena diferença na temperatura do líquido (efluente) em que a válvula apresentou o fechamento, devido o relé fazer o reconhecimento a cada 2 segundos.

É apresentado na Figura 14, o resumo dos 5 ensaios realizados, em diferentes taxas de acréscimo de temperatura, no qual a variação de temperatura de líquido (efluente) ocorre de 20 °C de temperatura inicial a temperatura de 45 °C de temperatura final.

Figura 14 – Taxas de acréscimo de temperatura em função do tempo de experimento.



Fonte: Autoria própria (2021).

É possível observar a partir da Figura 11, que o fechamento de válvula teve uma boa precisão, sendo o ponto de fechamento da válvula muito parecido em todos os 5 ensaios.

5.4.2 Temperatura do ponto de mistura inferior a 3 °C

Nos 5 ensaios realizados, a temperatura do ponto de mistura não ultrapassou as condições permitidas.

5.5 Dados de temperatura e duração de tempo que a válvula permanece aberta e fechada

Os dados de temperatura e duração de tempo em que a válvula permanece aberta e fechada foram expressos por meio do gráfico apresentado na Figura 11. No qual, na parte dos experimentos realizados, a válvula permaneceu aberta, visto que a velocidade do sistema de alimentação de líquido (efluente) é baixa.

5.6 Tempo de resposta, perfil de temperatura e tempo que a válvula permanece aberta e fechada

É apresentado na Tabela 3, os dados relevantes dos 5 experimentos realizados.

Tabela 3 – Dados dos experimentos.

Experimento	Temperatura de líquido (efluente) na entrada (°C)	Temperatura do corpo hídrico (°C)	Temperatura do ponto de mistura (°C)	Temperatura máxima permitida 40 °C	Diferença de temperatura (°C)	Diferença de temperatura permitida no ponto de mistura
1	25,00	21,25	21,33	OK	0,08	OK
2	30,00	21,25	21,69	OK	0,44	OK
3	35,00	21,25	21,75	OK	0,50	OK
4	40,00	21,25	21,84	OK	0,59	OK
5	45,00	21,25	22,37	OK	1,12	OK

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme pode ser observado na Tabela 3, a diferença de temperatura no corpo receptor não ultrapassou 3 °C, em nenhum dos cinco experimentos.

6 CONCLUSÃO

Levando em consideração os objetivos específicos desse trabalho de conclusão de curso, pode-se concluir, que a precisão do sistema, o tempo médio de resposta, a aplicabilidade desse protótipo, possuíram um bom desempenho de acordo com as condições de contorno aplicadas, ressaltando que o protótipo consegue atender apenas volumes pequenos de líquido (efluente), em escala industrial, a alimentação realizada por meio da gravidade, teria que ser substituída por uma alimentação que suportasse grandes quantidades de fluido, os motores elétricos são os mais usuais encontrados na indústria.

REFERÊNCIAS

AQUASTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "AQUASTAT" - FAO's Information System on Water and Agriculture."

ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003.

BASTOS, Raul Luís Assumpção. O segmento de automação industrial no Brasil: constituição, desenvolvimento e mudança no processo de abertura. **Ensaio FEE**, v. 19, n. 1, p. 302-331, 1998.

BENNETT, Stuart. **A history of control engineering, 1930-1955**. IET, 1993.

BRASIL. Ana. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (org.). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018**. 2018. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, 2011.

JIAN, C.-Y.; CHENG, S.-Y.; CHEN, J.-C. Temperature and salinity tolerances of yellowfin sea bream, *Acanthopagrus latus*, at different salinity and temperature levels. **Aquaculture Research**, v. 34, n. 2, p. 175-185, 2003.

DELMÉE, Gérard J. **Manual de medição de vazão**. Editora Blucher, 2003.

DIAS, Lucas da Silva. **Desenvolvimento de um sistema de medição de vazão com o uso de eletrônica microprocessada**. 2014. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

Disponível em: http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2014_LucasSilvaDias.pdf. Acesso em: 18 mar. 2020.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2001.

FERREIRA, Ed'WilsonT.; Segurança de Redes de Computadores em Ambiente Industrial, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia – MG 2001.

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Philip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução À Mecânica Dos Fluidos** . Grupo Gen-LTC, 2014.

GARCIA, C. (2017). *Controle de processos industriais*. Blucher.

Ritchie e Rose(2018) "*Urbanization*". Disponível:
<https://ourworldindata.org/urbanization>. Acesso em: 27 fev. 2021.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (hicss), [s.l.], p.112-118, jan. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2016.488>. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2918930>. Acesso em: 16 Abr. 2020.

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. *Engenharia de Automação Industrial*, 2ª Edição. LTC, 2010.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; DOS SANTOS, André Bezerra. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. *Revista DAE*, 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **Digital instrumentation and control systems in nuclear power plants: safety and reliability issues**. National Academies Press, 1997.

NUNES, J.A. Tratamento físico-químico de águas residuárias. 6º edição, editora J. Andrade, 2012.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial**. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

RIBEIRO, 2004. **Medição de vazão**. Ribeiro M. Antônio; 6ª Edição – 2004.

ROCHA, C.J; ROSA, A.H; CARDOSO, A.A. Introdução à química ambiental. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SEBORG, Dale E. et al. **Process dynamics and control**. John Wiley & Sons, 2010.

SCHNEIDER, P. S. *Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos*. [S.l.], 2007

SILVEIRA, Paulo Rogério; DOS SANTOS, Winderson Eugenio. **Automação e controle discreto**. Érica, 2009.

SMITH, Tyson. The Clean Water Act Turns 30: Celebrating Its Past, Predicting Its Future. *Environmental Law*, v. 22, n. 1, p. 167, 2003.

VILLAÇA, Marco Valério Miorim; SILVEIRA, Jony Laureano. Uma breve história do controle automático. *Revista Ilha Digital*, v. 4, p. 3-12, 2013.

WANG, L.; WANG, G. Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0. *International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)*, v. 6, n. 4, p. 1-8, 2016.

WANG, S. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, v. 101, p. 158-168, 2016.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (fskd), Zhangjiajie, p.2147-2152, ago. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/fskd.2015.7382284>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7382284>> . Acesso em: 17 abr. 2020.

APÊNDICE A – Código de programação do protótipo

```
// Inclusão de bibliotecas necessárias
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Linha de dados vai para o pino digital 2,3 e 4 respectivamente
#define ONE_WIRE_BUS_1 2
#define ONE_WIRE_BUS_2 3
#define ONE_WIRE_BUS_3 4

OneWire oneWire_1(ONE_WIRE_BUS_1);
OneWire oneWire_2(ONE_WIRE_BUS_2);
OneWire oneWire_3(ONE_WIRE_BUS_3);

DallasTemperature sensor_1(&oneWire_1);
DallasTemperature sensor_2(&oneWire_2);
DallasTemperature sensor_3(&oneWire_3);

DeviceAddress modulo_DS18B20;//cria um endereço temporário para a temperatura

int Rele = 8;// Pino que controlará o rele
int Valvula_Solenoid = 9;// Pino da válvula
const int Set_point = 40;// Temperatura desejada

float temperatura_1;
float temperatura_2;
float temperatura_3;

void setup() {
```



```
Serial.begin (9600);// Inicia a porta serial
Serial.println("Medindo temperatura");
sensor_1.begin();
sensor_2.begin();
sensor_3.begin();

pinMode(Rele,OUTPUT);
}

void loop() {

Serial.print("Medindo temperaturas...");
  sensor_1.requestTemperatures();
float temperatura_1 = sensor_1.getTempC(modulo_DS18B20);
Serial.print("Sensor_1: ");
Serial.println(sensor_1.getTempCByIndex(0));

  sensor_2.requestTemperatures();
float temperatura_2 = sensor_2.getTempC(modulo_DS18B20);
Serial.print("Sensor_2: ");
Serial.println(sensor_2.getTempCByIndex(0));

  sensor_3.requestTemperatures();
  float temperatura_3 = sensor_3.getTempC(modulo_DS18B20);
Serial.print("Sensor_3: ");
Serial.println(sensor_3.getTempCByIndex(0));
Serial.println(" done");

  if (temperatura_1 <= Set_point){

digitalWrite(Rele, HIGH); // Rele aciona abertura da válvula solenóide
Serial.print(" Valvula aberta; ");
}
}
```

```
else {  
  
digitalWrite(Rele, LOW); // Temperatura igual ou acima de 40 graus Celsius desliga o  
rele  
Serial.print(" Valvula fechada; ");  
delay (2000);// Aguarda 2 s para repetir o processo  
}  
  
if ((temperatura_3) >= (temperatura_2 + 3)){  
  
digitalWrite (Rele, LOW);  
Serial.print(" Valvula fechada; ");  
}  
else{  
  
digitalWrite(Rele, HIGH); // Temperatura do corpo receptor não ultrapassou 3 graus  
celsius  
Serial.print(" Valvula aberta; ");  
}  
}  
}  
}
```