



**Universidade Federal do Paraná**  
**Programa de Pós-Graduação Lato Sensu**  
**Engenharia Industrial 4.0**



**ANDERSON JOSÉ AGNER SILVESTRE**  
**MARCELO SARAIVA**

**SISTEMA INTELIGENTE DE ECONOMIA DE ÁGUA**

**CURITIBA**  
**2020**

ANDERSON JOSÉ AGNER SILVESTRE  
MARCELO SARAIVA

## **SISTEMA INTELIGENTE DE ECONOMIA DE ÁGUA**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA  
2020**

## RESUMO

O principal problema da humanidade no século XXI não será sobre ter a disponibilidade de jazidas de petróleo, gás, tecnologias, ou outros tipos de riquezas, mas sim pela disponibilidade de água potável. A população irá crescer muito mais que a quantidade de água potável disponível atualmente, e dessa forma, se faz necessário otimizar o seu uso, com atitudes que vão desde a mudança de costumes das pessoas, com a racionalidade no uso da água no dia a dia, até pela criação de tecnologias que proporcionem essa finalidade, quando isso não for possível., em casos corriqueiros como o desperdício de água quando se abre o registro de água quente em residências, e até que a água quente comece a ser utilizada, uma quantidade enorme desse precioso bem é simplesmente jogada fora. O objetivo deste trabalho será de apresentar um sistema de automação capaz de regular o consumo de água quente aplicada em instalações residenciais de forma inteligente, reduzindo também o consumo de energia elétrica, utilizando tecnologias voltadas à Indústria 4.0 de baixo custo, proporcionando assim grande economia financeira para seus usuários além de contribuir para a economia de água e estimulando o seu uso racional e sustentável. Este sistema foi desenvolvido através da construção de um MVP utilizando eletrônica convencional simples, e trouxe excepcionais resultados nos testes obtidos, garantindo os objetivos que foram traçados nesta proposta.

Palavras-chave: Economia de Água, Sistemas Inteligentes, IoT, Sustentabilidade.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Esquemático de um circuito hidráulico com aquecedor .....	6
FIGURA 2 – Tubulação padrão utilizada em circuitos de água quente .....	6
FIGURA 3. Equipamento recirculador de água de mercado .....	8
FIGURA 4. Fluxograma das principais etapas do trabalho.....	13
FIGURA 5 – Esquemático de um circuito hidráulico com aquecedor e solução proposta .....	15
FIGURA 6 – Protótipo de Testes de funcionalidade do Sistema .....	17
FIGURA 7 – Caixa termoplástica com as 2 placas Mega 2560 e Clock do Sistema .....	18
FIGURA 8 – Caixa termoplástica com os mini-relés de acionamento .....	19
FIGURA 9 – Caixa termoplástica com os contadores e Transmissor de Corrente .....	20
FIGURA 10 – Aplicativo Nexion com tela de testes .....	21
FIGURA 11 – Tela de Processo dos Testes executados .....	22
FIGURA 12 – Skid de Testes com dois Pressurizadores .....	23

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Estimativa de desperdício de água de uma residência.....	7
---	---

# CONTEÚDO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3. JUSTIFICATIVA.....	5
1.4. HIPÓTESES .....	8
1.5. OBJETIVO .....	9
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>13</b>
3.1. PROJETO PRELIMINAR .....	14
3.1.1. Funcionalidades do Sistema.....	14
3.1.2. Requisitos de projeto .....	15
3.1.3. Definição de Premissas .....	16
3.1.4. Definição de Tecnologias .....	16
3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO.....	16
3.2.1. Montagem da Eletrônica.....	17
3.2.2. Concepção da Lógica Principal .....	18
3.2.3. Testes de Bancada.....	18
3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO .....	18
3.3.1. Projeto dos Acionamentos .....	19
3.3.2. Comando dos Pressurizadores.....	20
3.3.3. Interface Homem-Máquina .....	21
3.3.4. Skid hidráulico .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
4.1.1. Análise dos Resultados .....	24
4.1.2. Considerações.....	24
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>26</b>
5.1. Sugestões de trabalhos futuros.....	26
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

Com o incremento da população mundial associado ao grande desperdício de água no mundo, desde os primórdios, e sendo este um recurso que está ficando cada vez mais raro, faz-se necessário a conscientização de alternativas que permitam o seu uso adequado.

Diversas metodologias já foram desenvolvidas, que vão desde campanhas de conscientização do uso racional pelas pessoas, até mesmo pelo armazenamento, filtração, reaproveitamento, e até mesmo o reuso da água.

Finalmente, com o acesso da população à tecnologia barata para aquecimento da água, especialmente de gás por passagem, o consumo de água aumentou de forma exagerada, tornando necessária a criação de sistemas inteligentes de economizar este recurso.

### **1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

Os processos existentes de aquecimento de água utilizando boilers ou por gás de passagem são largamente utilizados em locais onde existe a abundância de recursos (gás e insolação, por exemplo), em contrapartida dos tradicionais sistemas de aquecimento por chuveiros elétricos.

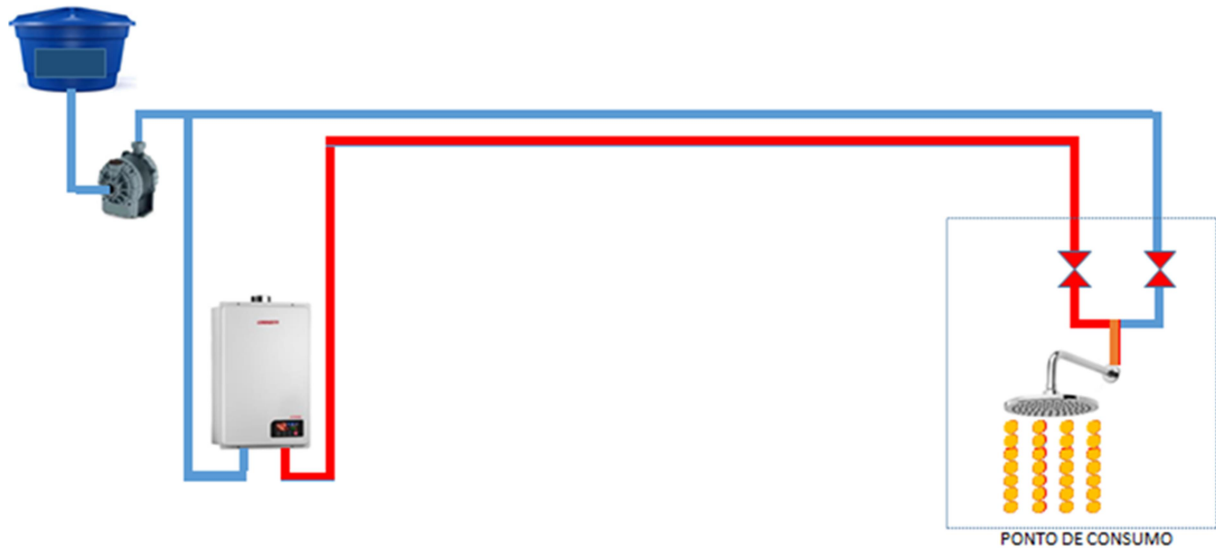
Conforme se pode observar, podemos estimar que, em alguns casos, possa existir desperdício de água em função do tempo excessivo do banho, ou do próprio processo em si do sistema de aquecimento utilizado, ou outros motivos não identificados.

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

O problema a ser minimizado é o gasto excessivo de água que existe no sistema de aquecimento de água por gás de passagem, boiler ou aquecimento solar no início do ciclo de uso da água quente. Este problema ocorre, pois toda água que já está na tubulação entre o aquecedor de passagem e os pontos de consumo é desprezada pelos usuários, pois está originalmente fria. Esta constatação pode ser facilmente entendida pela figura abaixo, observando-se a linha hidráulica

representada na cor vermelha, que não consegue levar a água quente imediatamente ao ponto de consumo, pela distância.

FIGURA 1 – Esquemático de um circuito hidráulico com aquecedor



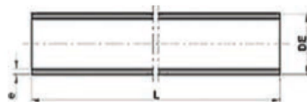
FONTE: AUTORES (2020).

Este problema é comum em todas as instalações com aquecedor por gás de passagem, por boiler, ou por aquecimento solar, e representa um desperdício de uma água já tratada que é desprezada., sendo proporcional à distância linear entre o ponto de aquecimento e o ponto de consumo.

Para se entender esse cálculo do desperdício, é importante entender o grau de vazão estabelecido pela tubulação padrão de 22 mm de diâmetro, conforme a figura abaixo:

FIGURA 2 – Tubulação padrão utilizada em circuitos de água quente

Tubo Aquatherm® TIGRE 3 metros



DIMENSÕES (mm)

Cotas	DN 15	DN 22	DN 28	DN 35	DN 42	DN 54	DN 73	DN 89	DN 114
DE	15	22	28	34,9	41,3	54	73	88,9	114,3
e	1,6	2,0	2,5	3,2	3,8	4,9	6,5	7,9	10,2
L	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Código	17000152	17000225	17000284	17001086	17001108	17001132	17001515	17001531	17001558

FONTE: TIGRE (2016).

Em um trecho de 1 cm, para tubulação 22 (equivalente à ¾"), o volume do conjunto será:

$$V = \pi r^2 h \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\text{Ou } V = 3,1415927 \times 0,9^2 \times 1,0 = 2,5447 \text{ cm}^3.$$

Em um circuito de 10 metros (média de comprimentos em residências com 2 a 3 quartos, até os pontos de consumo), temos:

$$V = 3,1415927 \times 0,9^2 \times 10.000 = 25.446,94 \text{ cm}^3,$$

$$\text{ou } 0,02544694 \text{ m}^3,$$

$$\text{ou } 25,45 \text{ litros.}$$

Dessa forma, o desperdício mínimo de água, desde o aquecedor até 1 (um) ponto de consumo, seria de no mínimo 25,45 litros, nesta hipótese.

Supondo-se os seguintes consumos diários de água quente, para 4 pessoas, para no mínimo 1 vez ao dia:

TABELA 1 – Estimativa de desperdício de água de uma residência

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE (DIA)	VOLUME (Litros)
Banho	4	101,80
Lavar mãos	4	101,80
Lavar Louça	1	25,45
Outros	1	25,45
<b>TOTAL (litros / dia)</b>		<b>254,45</b>

Supondo-se uma taxa de otimização de 40% (caso ainda haja linha quente na linha em 40% dos casos, então o desperdício mínimo calculado (60%) seria de 152,70 litros/dia, já considerando o desperdício causado pela disposição dos equipamentos.

Dessa forma, o desperdício potencial em 1 ano, seria de 55.735,50 litros, ou 55,74 m<sup>3</sup>, e em 1 mês fiscal, o desperdício potencial seria de 4.644,25 litros, ou 4,64 m<sup>3</sup>.

Estima-se que este número, se aplicado às unidades residenciais do tipo apartamento, seriam em torno de 40% a 50% desse volume, ou seja: 1,86 m<sup>3</sup> a 2,79 m<sup>3</sup> / mês de desperdício.

De acordo com a SANEPAR, se uma família de 4 pessoas tiver o consumo médio mensal de 18 m<sup>3</sup> em Curitiba, pode obter uma redução mensal de consumo de quase 5 m<sup>3</sup> (vide cálculos estimados de desperdícios evitados acima).

- Consumo atual mensal estimado = 18m<sup>3</sup> (R\$ 11,68 / m<sup>3</sup>);

- Consumo evitado mensal = 5 m<sup>3</sup>;
- Consumo evitado mensal possível: 13 m<sup>3</sup> (R\$ 11,63 / m<sup>3</sup>) = R\$ 210,24 – R\$ 151,19 = R\$ 59,05;
- Gasto evitado anual possível: R\$ 59,05 x 12 meses = R\$ 708,60;

Observar mais uma vez que o cálculo acima está baseado na possibilidade de se evitar o desperdício de água no início de ciclo de aquecimento, estimando-se uma otimização de 40% (água ainda quente na tubulação, em 40% dos casos, trazendo esse cálculo para uma base otimista), já pensando na viabilidade técnica-financeira da solução.

#### 1.4. HIPÓTESES

Para minimizar este problema provocado pelo Processo do uso da água quente neste tipo de equipamento, o usuário pode salvar a água manualmente, com o uso de baldes e levando o produto até o seu reuso.

Outra possibilidade é a utilização de optar pela recirculação da água até que ela atinja a temperatura adequada, com equipamentos de mercado. Isso pode ser feito com uma válvula termostática ou com um termostato acoplado a linha de água quente, onde o final dessa linha é acoplada ao início dela, e quando a temperatura atinge a temperatura de conforto do usuário, a válvula é acionada e a água é liberada para consumo.

Como exemplo, segue o modelo abaixo:

FIGURA 3. Equipamento recirculador de água de mercado

The screenshot shows the Rinnai website interface. At the top, there is a navigation bar with the Rinnai logo and the tagline "Creating a healthier way of living". Below this, there is a menu with categories like PRODUTOS, EMPRESA, CONTEÚDOS, REVENDADORES, ASSISTÊNCIA, and CONTATO. The main content area features a large banner for the "Smartstart Sistema de Recirculação Automatizada". Below the banner, there is a section titled "ACESSÓRIOS" (Accessories) with a sub-section for "Recirculação Automatizada" (Automated Recirculation). This section lists "Válvula Misturadora Automática" (Automatic Mixing Valve), "Bombas Pressurizadoras" (Pressure Boosters), and "Outros" (Others). To the right of the text, there is a small image of the Smartstart equipment.

FONTE: RINNAI (2020)

Este equipamento, porém, não pode ser utilizado em qualquer tipo de aquecedor de passagem, pois os alguns fabricantes não utilizam materiais que suportam temperaturas acima de 40°C.

Adicionalmente, o preço sugerido dessa linha de produto pode chegar a R\$ 2.000,00, sendo um valor elevado para um investimento para quem está adquirindo um sistema de aquecimento, ou até mesmo para quem já possui um desses.

### **1.5. OBJETIVO**

A proposta desse trabalho é apresentar um sistema inteligente associado à sensorização via IoT (Internet of Things), que possibilitará o uso otimizado da água no processo de aquecimento em chuveiros ou duchas, possibilitando assim o seu uso sustentável. Cabe lembrar que, conforme os dados apresentados da taxa de crescimento mundial, do volume de consumo de água pelas pessoas movidas pelos costumes ou pelo desperdício, simplesmente não haverá água para todos, tornando esse um problema mundial, e talvez o maior desafio da humanidade do século XXI.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 bilhões de indivíduos para 9,7 bilhões em 2050. (UNITED NATIONS, 2019).

A água tem grande importância para a vida, sendo considerado o mais precioso recurso natural do mundo. O consumo de água aumentou muito com a industrialização, urbanização e o crescimento populacional, e para complicar, a poluição vem contribuindo cada vez mais para esse recurso ficar cada vez mais escasso. Estes problemas tendem a aumentar cada vez mais, inclusive em áreas que nunca sofreram com isto. (BIOSISTEMAS BRASIL, 2015).

A civilização humana sempre demandou o uso de recursos naturais, especialmente a água, e pode-se contar a história do consumo da água associada à evolução da humanidade. Aprendeu-se a encontrar, armazenar, filtrar e distribuir com o decorrer dos séculos. Existem relatos de 4.500 a.C do surgimento de sistemas de distribuição de água, e da confecção de potes de barro para armazenar água, à 9.000 a.C. o uso de cerâmica (matéria-prima dos potes de barro) já era conhecida em 7.000 a.C.

Aprendeu-se, com o passar do tempo, que água não tratada poderia ser prejudicial à humanidade, e em 2.000 a.C, a civilização egípcia usou o sulfato de alumínio para deixar a água mais clara. Na extinta língua sânscrita, há relatos do passado no cuidado com o armazenamento de água em vasos de cobre e a sua possibilidade de filtrá-la pelo uso de carvão, deixando-os sobre o Sol. Relata-se ainda, em sânscrito, que se poderia deixar a água purificada fervendo-a, ou ainda sendo aquecida pelo Sol, ou introduzindo-se uma barra de ferro aquecida, seguida pela filtração pela areia ou cascalho grosso. Há relatos da construção de uma represa em 2.900 a.C no Egito, para abastecer a antiga cidade de Memphis.

Não havia preocupação com o destino dos dejetos humanos na história. A população em geral, pobre e rica, faziam suas necessidades diretamente no solo, sem qualquer tipo de tratamento, e ao chover, esses resíduos se misturavam nas águas dos rios, contribuindo para a proliferação das doenças. Os egípcios e japoneses perceberam esse problema e tentaram minimizá-lo, filtrando a água antes do consumo, em vasos de porcelana. Por sua vez, os gregos perceberam que era necessário organizar o uso da água nas cidades e no campo, criando regras.

A revolução industrial começou na Inglaterra e estendeu-se rapidamente por toda a Europa e Estados Unidos, entre 1760 e 1850 (século XVIII). Um grande crescimento urbano foi ocasionado, em função de parte da população rural migrar para as cidades em função do aparecimento das indústrias, que foram impulsionadas por novas técnicas, transformações comerciais e agrícolas. Foi uma época de grande transformação na sociedade.

O século XX será lembrado pelo consumo indiscriminado da água, e foi nesse período que as usinas hidrelétricas mais se desenvolveram. As pessoas acreditavam que essa energia era altamente limpa, em comparação com as que existiam (usinas termelétricas movidas a carvão ou óleo combustível especialmente, mas esqueceu-se que o impacto ambiental iria acontecer, e que foram muito estudados e comprovados por estudos em Limnologia e Ecologia, devido a utilização das barragens, necessárias à tecnologia (COELHO; HAVENS, 2016).

Como se percebe, inúmeras tecnologias surgiram para armazenar, transportar, filtrar e reaproveitar a água desde os primórdios e que até hoje são utilizadas, como por exemplo, poços, canais, aquedutos e represas, sendo a mais comum em utilização mundial os reservatórios de unidades habitacionais, conhecidas como caixas de água. Além disso, com o crescente uso da água em processos industriais, inúmeros processos de filtragem e reaproveitamento desse precioso produto vêm se aprimorando, tais como filtragem, flotação, entre outros.

Por outro lado, os hábitos com a higiene pessoal, ao longo da história, também evoluíram. Existem relatos da primeira banheira usada na história, em 1700 a.C, e relatos que em 500 A.C os gregos passaram a usar também os primeiros chuveiros, ainda de forma rudimentar. (NYTIMES, 2001).

Na idade média, a tradição dos banhos, mesmo em praça pública, mudou radicalmente, com os princípios religiosos adotados, e isso acarretou graves epidemias, tais como a peste bubônica, que matou por volta de 200 milhões de pessoas, ao longo da Idade Média. O hábito do banho na Europa voltou por volta do ano 1200 durante as cruzadas, onde os banhos públicos ainda existiam. (NYTIMES, 2001).

Segundo DAILYINFOGRAPHIC, somente no Brasil, no total, tomam-se em média quatorze banhos semanais, o que significa dois banhos-dia por habitante. Dessa amostragem, 99% dos brasileiros tomam uma ducha a cada semana, comparando com apenas 90% dessa taxa para os americanos.

Se considerarmos o censo de 2019, existem aproximadamente 71 milhões de residências no Brasil, com 2,8% das residências que não possuem banheiro estruturado. Do montante restante, aproximadamente 72.000 residências não tem acesso à eletricidade (AGENCIA BRASIL, 2019; IBGE, 2019).

Sendo assim, existem aproximadamente 69 milhões de residências com potencial para um banheiro com chuveiro elétrico, ou qualquer outro sistema de aquecimento (boiler, aquecedor por gás de passagens, ou energia solar), com conseqüente potencial para consumo de água, sendo que, devido às condições de pobreza ou até mesmo que em grande parte do Brasil estar localizado em regiões extremamente quentes, estima-se que 58 milhões de residências contam com sistemas de aquecimento, e desse montante, 76% delas usam o chuveiro elétrico. (ABAGAS, 2018).

Ainda segundo a ABAGAS, existem pelo menos 3 milhões de aquecedores à gás vendidos no Brasil, com um mercado potencial de vendas de aproximadamente 300 mil aquecedores a gás por ano. Como se sabe, esse sistema tem como grande vantagem a economia de energia elétrica em relação aos chuveiros elétricos tradicionais, porém tem um consumo elevado de água, que será detalhado posteriormente.

Um Sistema Inteligente, por definição, é um sistema que possui uma abordagem baseada em computação para a tomada de decisões humanas (LEWIS UNIVERSITY, 2020).

Sendo assim, quando se fala em Sistemas Inteligentes de economia de água, imagina-se que seja uma solução que permita economizarmos a água de uma forma inteligente, isto é, consumindo o mínimo de recursos possíveis, e ao mesmo tempo, que seja baseada em computação.

### 3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para a execução e verificação dessa hipótese e objetivo propostos neste estudo, algumas etapas foram realizadas para a obtenção dos resultados. A intenção deste Projeto buscou a criação de um MVP (Produto mínimo viável) que buscou provar a viabilidade deste Projeto.

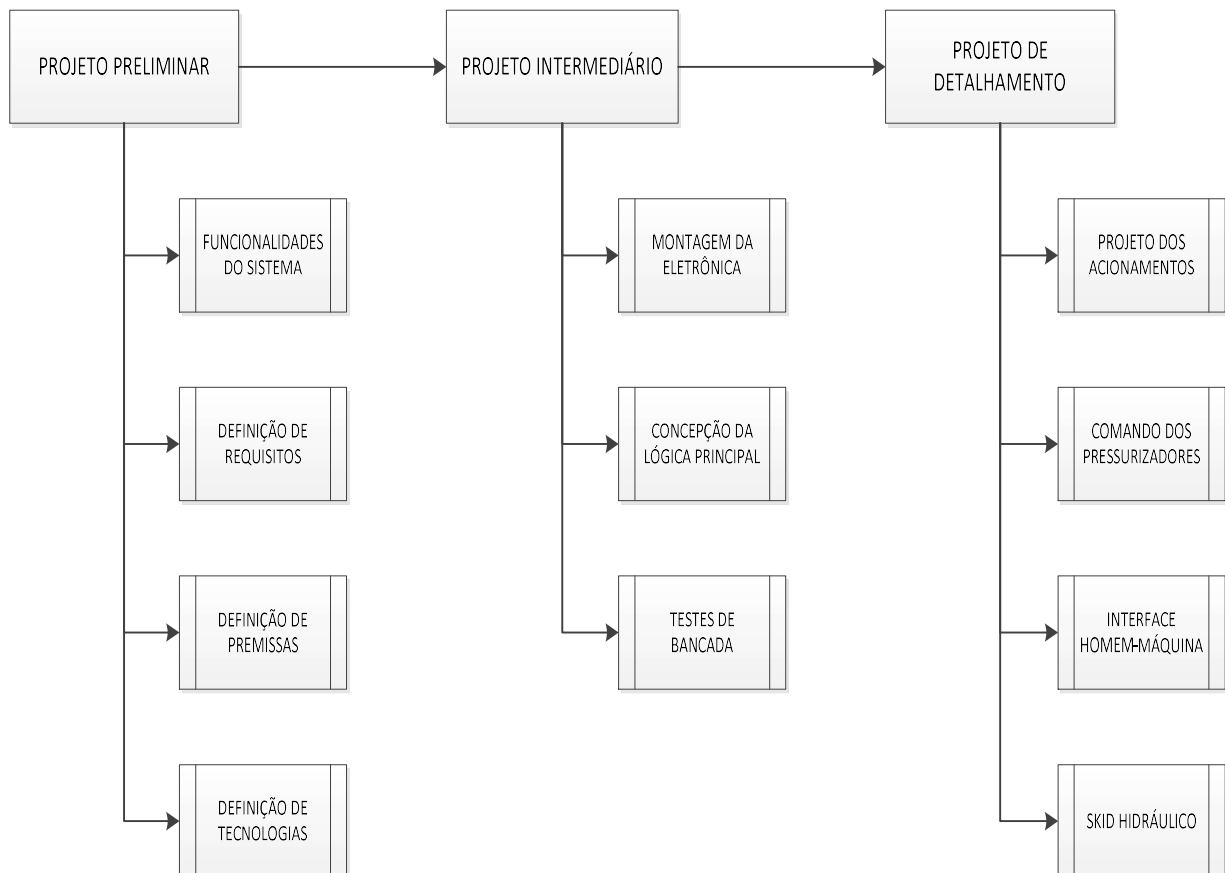
A criação do MVP foi o foco deste trabalho, pois procurou-se identificar todos os problemas e restrições do Projeto, mostrando também a eficácia do produto.

Diversos dados foram coletados durante a concepção desse MVP, conforme abaixo:

- Quantidade de água poupada;
- Quantidade de energia poupada;
- Ciclos de disponibilidade (quantidade de vezes que o equipamento apresentou problemas);

Os seguintes ciclos foram realizados:

FIGURA 4. Fluxograma das principais etapas do trabalho.



FONTE: AUTORES (2020)

### 3.1. PROJETO PRELIMINAR

Baseado em uma experiência real vivida na crise hídrica ocorrida na grande São Paulo há alguns anos atrás, onde a água fria no início do ciclo ao abrir a válvula de água quente era salva em reservatórios no banheiro, e depois reutilizada na descarga ou em outros pontos da casa, foi desenvolvido um sistema que faz a água retornar para o reservatório principal (ou pode ser um auxiliar, dependendo do tipo de unidade habitacional) quando ainda está fria, e após a água começar a esquentar, é desviada novamente para o ponto de consumo.

#### 3.1.1. Funcionalidades do Sistema

Pensando pelo ponto de vista de funcionalidade do Sistema, estabeleceu-se a seguinte lógica:

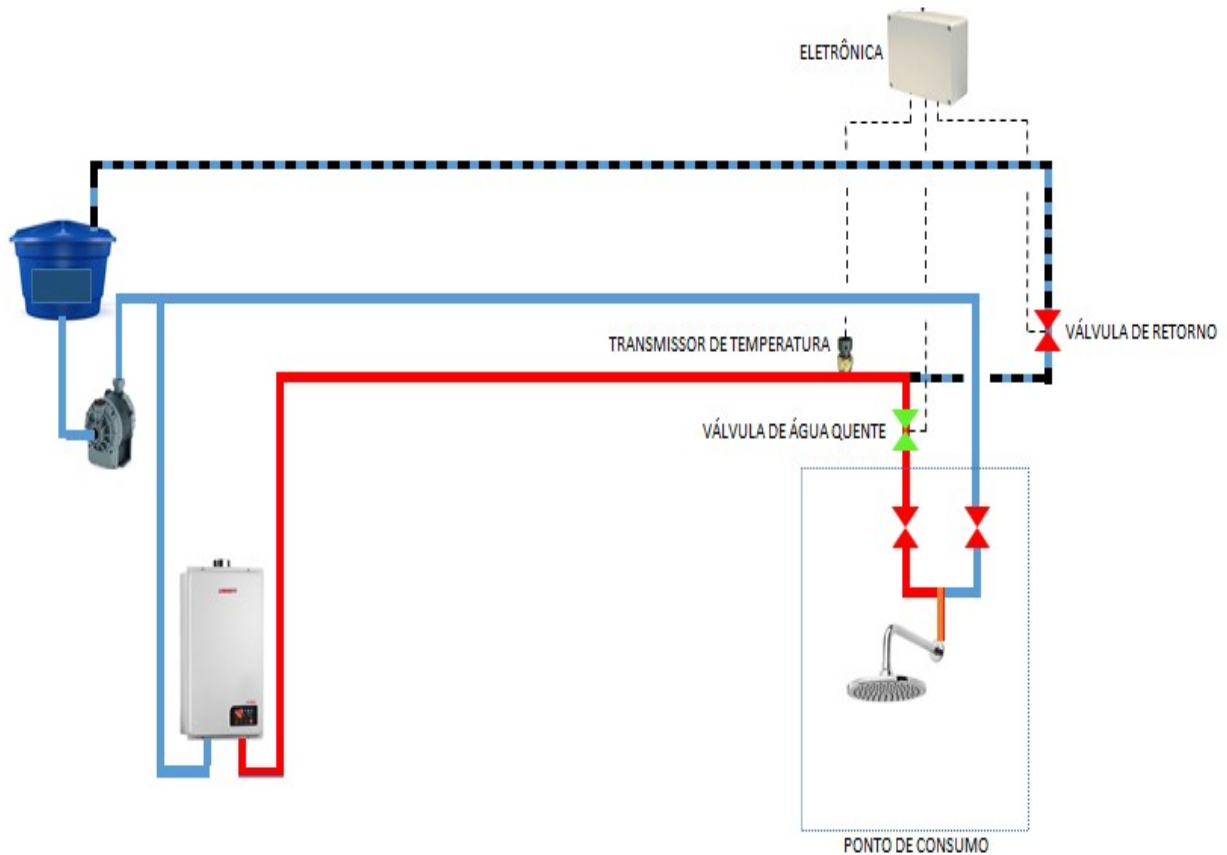
- 1) Usuário abre o registro de água quente;
- 2) O Pressurizador é automaticamente acionado, pelo deslocamento de vazão (fluxostato) já presente neste dispositivo.
- 3) A água começa a ser bombeada do pressurizador para o ponto de consumo, e a temperatura da água precisa ser medida;
- 4) Se a temperatura estiver abaixo de um ponto de conforto (estimado acima de 27°C) a água é desviada do ponto de consumo para o reservatório (necessidade de instalação de 1 válvula solenoide para desvio para reservatório e outra válvula solenoide que impede a água de seguir para o ponto de consumo);
- 5) Se a temperatura subir acima de 27°C, a água não segue mais para o reservatório, como estava idealizado no passo 4: agora é desviada para o ponto de consumo, e o usuário desfruta de água quente, sem o desperdício.
- 6) O Usuário realiza o seu banho e fecha o registro de água quente. Se a temperatura na linha permanecer acima de 27°C, o ciclo identificado no Passo 4 não é realizado, e a água quente já é endereçada para o usuário do “próximo banho”.

Dessa forma, de forma mínima, será necessário no Sistema:

- 1 Sensor de temperatura;
- 1 válvula solenoide normalmente aberta (Válvula de Água Quente);
- 1 válvula solenoide normalmente fechada (Válvula de Retorno);
- 1 Eletrônica (Sistema de Computacional – Inteligente);

Assim, a solução idealizada segue conforme a figura abaixo:

FIGURA 5 – Esquemático de um circuito hidráulico com aquecedor e solução proposta



FONTE: AUTORES (2020)

### 3.1.2. Requisitos de projeto

Para o controle dos equipamentos que fazem parte desse Sistema Inteligente, foi escolhida a plataforma Arduino (para o controle) e Nexion (para a operação e visualização).

Em relação ao controle do sistema, algumas funcionalidades foram acrescentadas em função dos experimentos e testes realizados na fase MVP por questões de processo, devido á garantir a funcionalidade do Sistema:

- Possibilidade de controle individual do pressurizador (caso o usuário deseje usar a água fria, sem o uso do pressurizador, proporcionando economia de água e energia);
- Temporização na manobra do Sistema de válvulas (nos experimentos, percebeu-se que o chaveamento entre o consumo da água e o retorno para o reservatório não poderia ser feito simultaneamente, evitando o “coice” na linha hidráulica);
- Visualização da temperatura da linha hidráulica de água quente;
- Visualização dos status das válvulas de Retorno e de Água Quente;
- Visualização do status do Pressurizador;

### 3.1.3. Definição de Premissas

As premissas para a concepção desse produto foram idealizadas conforme abaixo:

- Deve ser de baixo custo;
- Deve ser de fácil construção;
- Precisa ser totalmente amigável ao usuário;

### 3.1.4. Definição de Tecnologias

As seguintes tecnologias foram idealizadas para a concepção desse produto:

- Eletrônica: Plataforma Arduino;
- Sensores: compatível com IoT e Arduino;
- Interface Homem-Máquina: IHM convencional, com opção por visualização via celular;

## 3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO

Na concepção da tecnologia Arduino, foi escolhida a plataforma Mega 2560 e Uno, onde a primeira delas é responsável pela lógica de acionamento de habilitação dos pressurizadores e liberação das válvulas on-off, e a segunda placa, para a configuração da comunicação com a IHM Nexion.

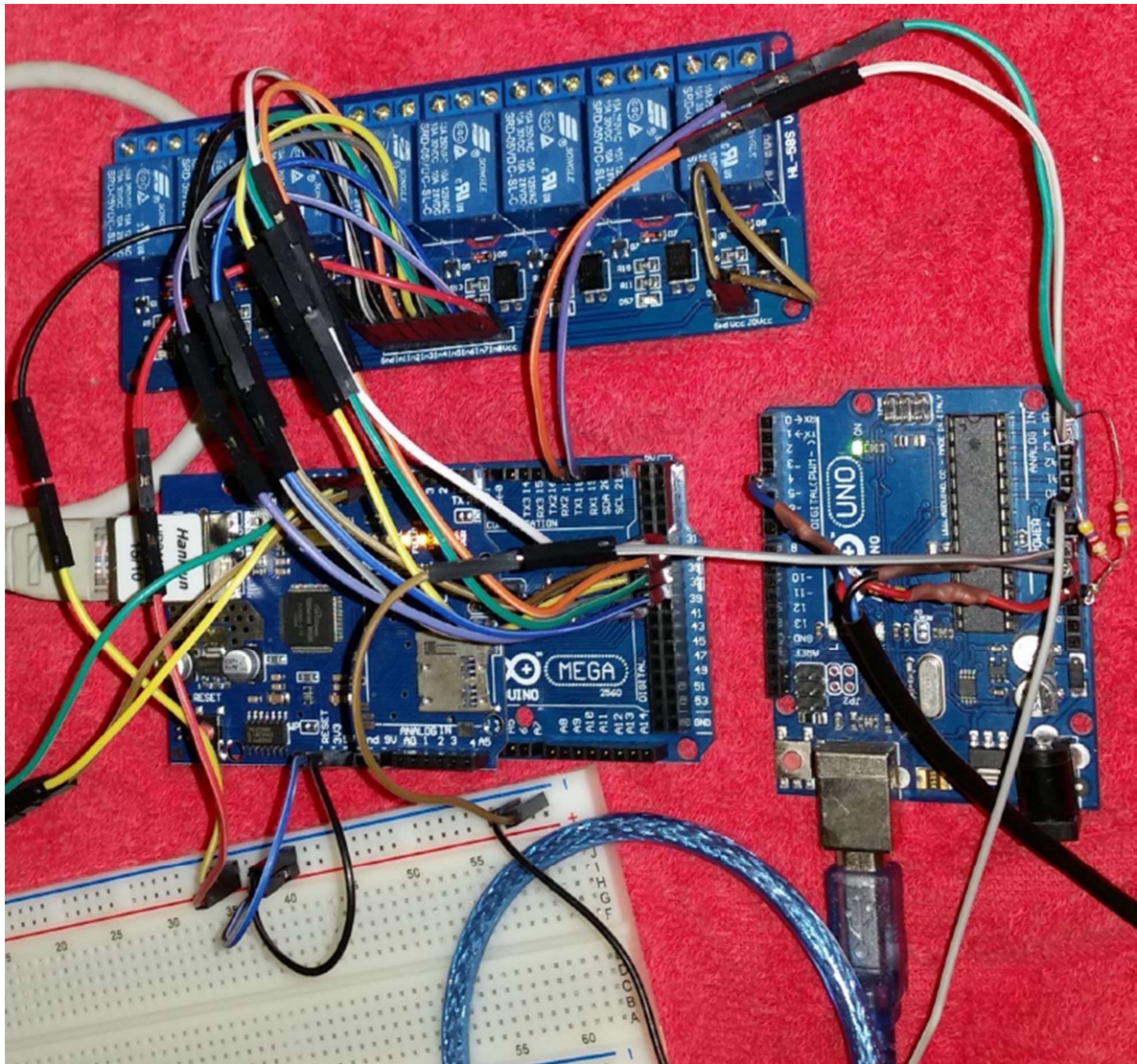
### 3.2.1. Montagem da Eletrônica

Na fase de prototipagem foram realizados testes de bancada, com a simulação de diversos testes de funcionalidade individual, com as placas abaixo (1 placa Mega 2560, 1 placa Uno, 1 placa com 8 mini relés), um sensor de temperatura DSB1516.

Também foi utilizado um protoboard para a geração dos sinais de comando para as placas e alimentação dos sensores, uma fonte de alimentação 5Vdc, e fiação específica para a interconexão entre as placas, sensores e fonte de alimentação.

A comunicação com a interface de visualização dos resultados foi realizada com a plataforma de configuração IDE Arduino, via cabo de comunicação serial USB.

FIGURA 6 – Protótipo de Testes de funcionalidade do Sistema



FONTE: AUTORES (2020)

### 3.2.2. Concepção da Lógica Principal

A lógica concebida para a funcionalidade desse Projeto foi idealizada com a ferramenta IDE Arduino, seguindo as definições estabelecidas nas fases do Projeto Preliminar (Funcionalidades do Sistema).

### 3.2.3. Testes de Bancada

Os testes de bancada foram concebidos conforme as definições estabelecidas nas fases do Projeto Preliminar (Funcionalidades do Sistema).

## 3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO

Na fase MVP, foi utilizada uma caixa termoplástica para acomodar o “cérebro” (com as 2 placas Mega 2560), e uma placa de referência de clock, conforme figura abaixo:

FIGURA 7 – Caixa termoplástica com as 2 placas Mega 2560 e Clock do Sistema



FONTE: AUTORES (2020)

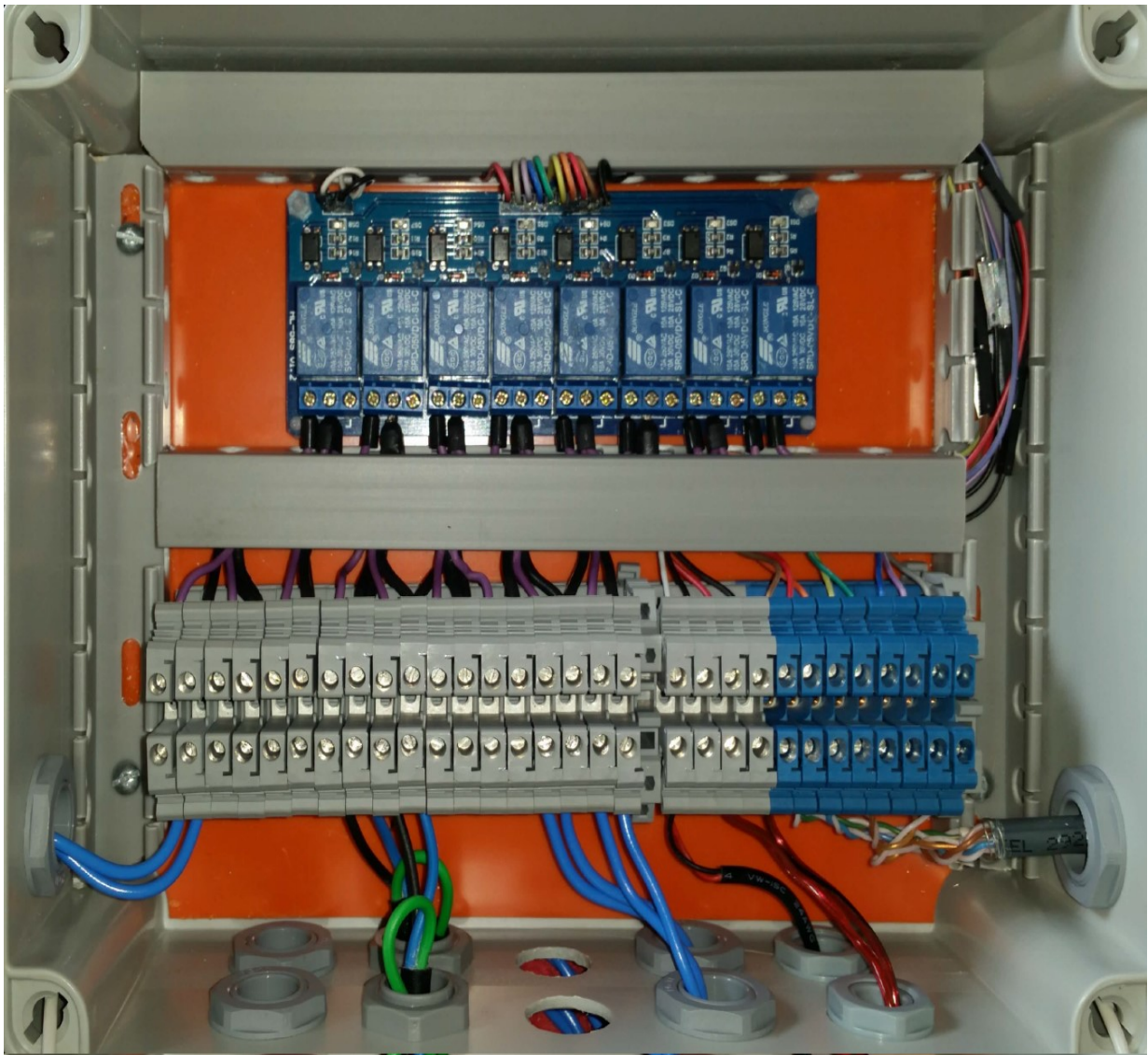
As duas placas Mega 2560 foram concebidas para trabalhar em rede, utilizando o protocolo I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit), trocando informações

(comunicação bidirecional) para as funções de comando (placa inferior) e visualização (placa superior).

### 3.3.1. Projeto dos Acionamentos

Foi utilizada uma caixa termoplástica com os mini-relés (para comandar as válvulas solenoides e habilitar os pressurizadores), conforme abaixo:

FIGURA 8 – Caixa termoplástica com os mini-relés de acionamento



FONTE: AUTORES (2020)

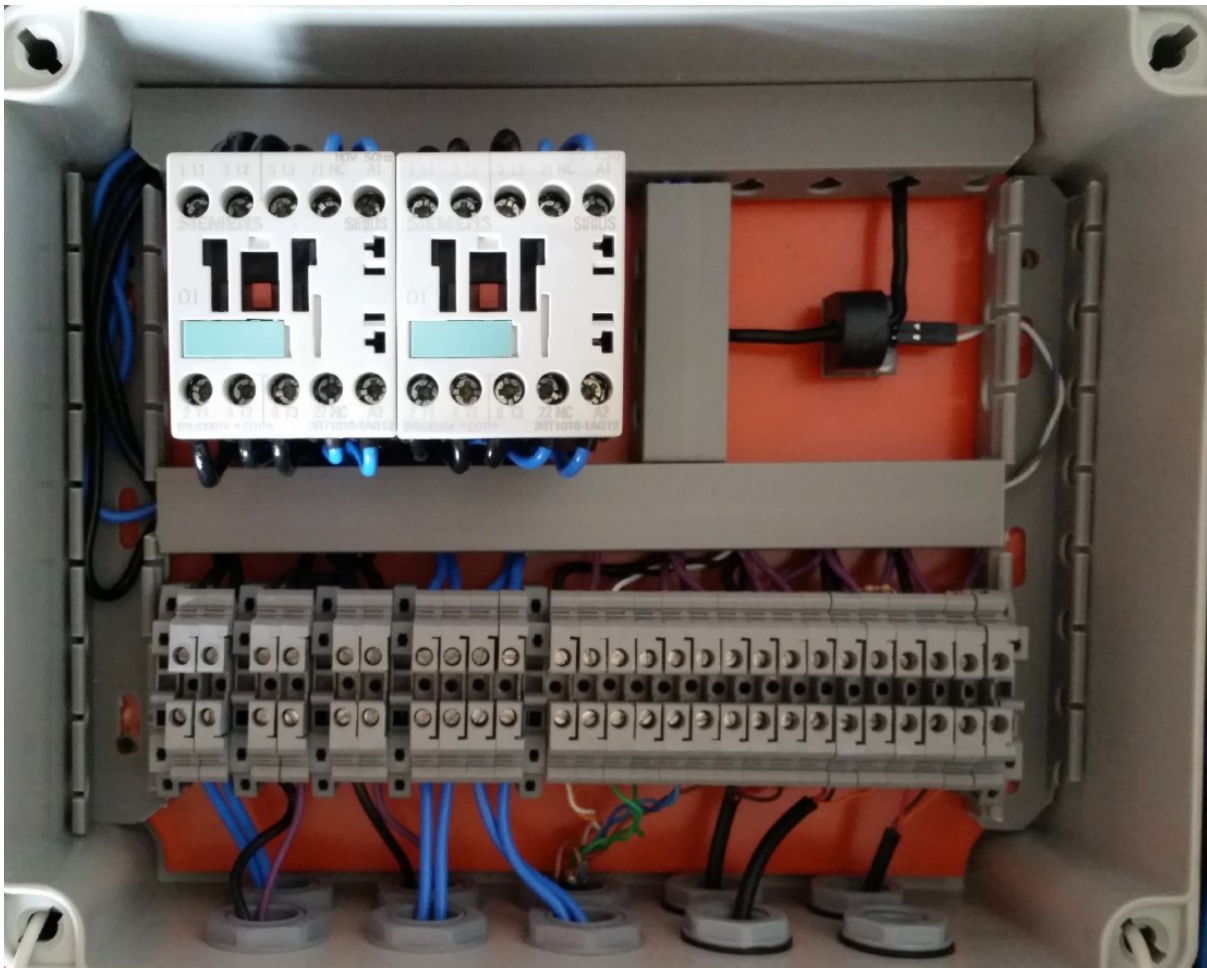
Este conjunto de mini-relés foi concebido para comandar as 2 válvulas solenoides já descritas (de Água Quente e de Retorno), 2 válvulas solenoides de bloqueio dos pressurizadores (nos testes, foram concebidos 2 pressurizadores,

operando em forma principal/back-up), e o restante deles são utilizados como reservas

### 3.3.2. Comando dos Pressurizadores

Foi utilizada uma caixa termoplástica com os contatores e um transmissor de corrente elétrica (que gera o flag de início da pressurização), conforme abaixo:

FIGURA 9 – Caixa termoplástica com os contatores e Transmissor de Corrente



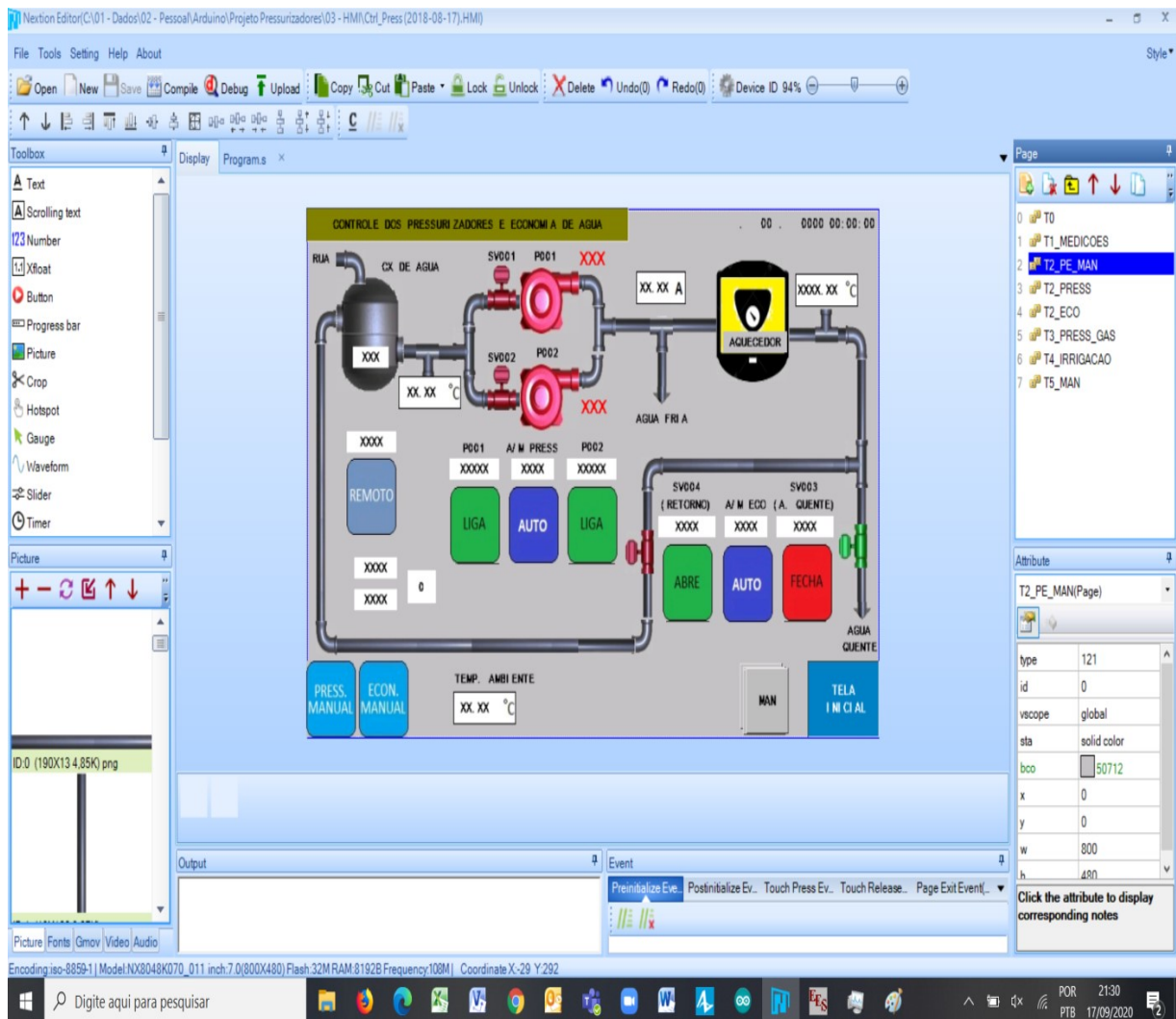
FONTE: AUTORES (2020)

Além dos contatores, no canto direito superior, existe um transmissor de corrente que detecta a intensidade dessa grandeza sobre o pressurizador selecionado. Esse Transmissor de Corrente (TC), gera um sinal proporcional numérico que permite a indicação do pressurizador efetivamente trabalhando.

### 3.3.3. Interface Homem-Máquina

Para os testes, foi concebida a visualização em IHM (Interface Homem-Máquina) da Nexion, onde foi possível desenvolver toda a visualização e ajustes do equipamento a fim de estabelecer o MVP. Foi desenvolvida uma tela de ajustes e visualização, que possui um aplicativo disponível em plataforma Windows, conforme abaixo:

FIGURA 10 – Aplicativo Nexion com tela de testes



FONTE: AUTORES (2020)

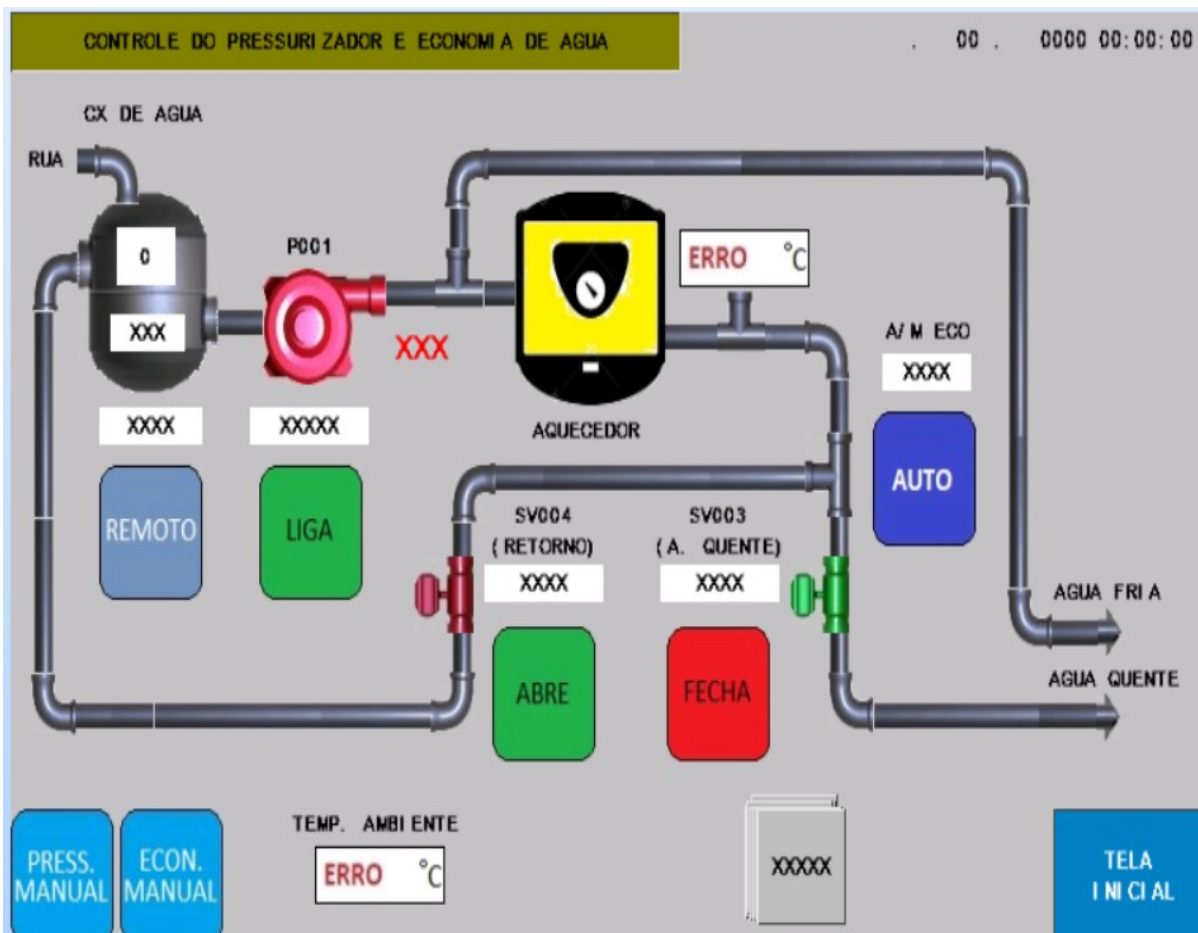
Percebe-se que a tela de testes também está concebida para a possibilidade de até dois pressurizadores em paralelo.

Além disso, foi concebido a possibilidade de comando Local (pela IHM) ou Remoto (pelo celular), porém, a aplicação de comando via celular está em fase de testes preliminares devendo ainda ser aprimorada.

Existe ainda a possibilidade de comando Manual, onde o usuário consegue manobrar as válvulas (abrir e fechar), bem como os pressurizadores (habilitar ou desabilitar).

Para este Projeto, esta eletrônica foi modificada e conseqüentemente a tela de processo foi reconstruída, prevendo a utilização de apenas um pressurizador, com as mesmas funcionalidades da tela inicialmente prevista (have Local/Remoto, e Auto/Manual) conforme figura abaixo:

FIGURA 11 – Tela de Processo dos Testes executados



FONTE: AUTORES (2020)

### 3.3.4. Skid hidráulico

Para a realização dos testes, foi construído um skid com o circuito hidráulico contendo o pressurizador, poço termométrico com o transmissor de temperatura, e válvulas solenoides de chaveamento da água quente e água de retorno, conforme abaixo:

FIGURA 12 – Skid de Testes com dois Pressurizadores



FONTE: AUTORES (2020)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comunicação entre as placas eletrônicas (conjunto com 2 placas Mega 2560), módulos de mini reles, e módulos contadores, foi realizada com fiação via cabo com shield externo de baixo custo, estabelecendo uma confiança na utilização que garantiu a disponibilidade do Sistema em torno de 95%.

Este índice foi realizado com testes de energização e posterior desenergização do Sistema, e em uma das ocasiões das vinte energizações, o Sistema precisou ser novamente reinicializado.

Quanto à comunicação da placa Mega 2560 responsável pela comunicação com o Sistema de simulação Nexion, que rodou no aplicativo em um notebook de testes, foi estabelecida uma comunicação serial via porta USB. Essa comunicação manteve-se estável em velocidades de 512Kbps, mas acima dessa velocidade, a comunicação fica instável.

A comunicação desse simulador Nexion com a placa de comunicação foi estabelecida nessa velocidade para dar a sensação de variabilidade no comando pelo usuário. Com velocidades menores, houve a sensação que a ordem “demorava” para chegar ao destino, causando a sensação de ineficiência do Sistema. Em 512 Kbps, a ordem via botões de acionamento ou via sensor de temperatura, demoram em média menos de 0,5 segundos para dar a resposta visual

### 4.1.1. Análise dos Resultados

O objetivo do Sistema no que tange à economia de água foi atingido, mostrando-se eficaz no seu propósito, aliando baixo custo e praticidade de utilização. O sistema se mostrou eficaz na economia de água, não trazendo desconforto para o usuário.

### 4.1.2. Considerações

Pôde-se perceber facilmente que o módulo de testes foi configurado com capacidade máxima para simular todas as situações, mas como objetivo de projeto para o produto final, precisa ainda ser otimizado para atingir um grau de simplicidade maior.

Isso poderá ser possível com a configuração prévia da temperatura de chaveamento das válvulas de retorno e água quente, e dessa forma, a placa

eletrônica de comunicação com o sistema de simulação poderia ser eliminada, bem como o próprio sistema de simulação (somente necessário na fase de “calibração” da temperatura de conforto).

## 5. CONCLUSÕES

O produto final obtido mostrou-se eficaz, onde realmente conseguiu cumprir o objetivo de desviar a água fria que iria se jogada fora para a caixa d'água, no início do ciclo de aquecimento.

Durante o período de testes, o Sistema se comportou bem pelo ponto e vista da comunicação entre os dispositivos, do funcionamento da lógica, e do sistema de simulação, mas precisou de ajustes na lógica de retorno da água em baixas temperaturas, onde foi necessária a instalação de um delay no chaveamento. Isto foi necessário para evitar o “coice” na linha no chaveamento, e somente foi possível esse ajuste graças a simulação real com o skid de pressurizadores.

Notou-se também que o Sistema pode funcionar com otimizações, deixando-o mais simples e de fácil operação e com a possibilidade de um custo mais atraente, uma vez que existe ainda a questão de instalação física, o que pode encarecer o sistema e ser menos atraente para a utilização em residências.

A questão que envolve a instalação hidráulica é uma preocupação da viabilidade do produto principalmente em apartamentos já prontos, que pode ser perfeitamente trabalhada pelo ponto de vista e marketing de sustentabilidade e economia de água. Para unidades habitacionais ainda não construídas, esse Sistema tem potencial de ser amplamente utilizado.

Conclui-se, portanto, que o Sistema concebido cumpriu com seu propósito, mas que pode ainda ser melhorado e trabalhado para deixa-lo ainda mais atrativo pelo ponto de vista financeiro, o que permitiria uma produção em massa e futura comercialização para os clientes em potencial.

### 5.1. Sugestões de trabalhos futuros

Em relação à eletrônica do Sistema desenvolvido, devido a rápida evolução dos sistemas de inteligência, já se percebe que pode ser possível uma otimização ainda maior que a eliminação de uma das placas Mega 2560, com a substituição da outra placa Mega por um modelo ESP32, de maior poder de processamento, mas que precisa de alguns ajustes na compatibilidade de níveis de sinais. Esse pode ser uma tendência de evolução do produto, deixando-o ainda mais economicamente viável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAGAS, 2018. **Aquecedores de água a gás – Seminário Técnico ABNT – Ribeirão Preto-Fevereiro /18**. Disponível [http://www.gasescombustiveis.com.br/seminario/119/palestras/Aquecedores\\_20180220.pdf](http://www.gasescombustiveis.com.br/seminario/119/palestras/Aquecedores_20180220.pdf). Acesso em 20/08/2020.
- AGENCIABRASIL, 2019. **Total de domicílios alugados no Brasil cresce 5,3% em um ano**. Disponível em <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-05>. Acesso em 15/08/2020.
- BIOSISTEMAS BRASIL, 2015. **Água, nosso recurso mais precioso**. Disponível em <http://www.usp.br/portabiossistemas/?p=7183>. Acesso em 10/08/2020.
- COELHO, Ricardo; HAVENS, Karl, 2016. **Crise nas Águas**. Disponível em [http://flseagrant.ifas.ufl.edu/Crise NasÁguas/Chapter2.pdf](http://flseagrant.ifas.ufl.edu/Crise%20Nas%20Aguas/Chapter2.pdf). Acesso em 01/08/2020.
- DAILYINFOGRAPHIC, 2018. **The definitive guide to hygiene habits around the world**. Disponível em <https://www.dailyinfographic.com/world-shower-habits>. Acesso em 10/08/2020.
- IBGE, 2019. **Síntese de Indicadores Sociais - Uma Análise das Condições de Vida da População Brasileira**. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101678.pdf>. Acesso em 01/07/2020
- LEWIS UNIVERSITY, 2020. **What are Intelligent Systems?** Disponível em <https://online.lewisu.edu/mscs/resources/what-are-intelligent-systems>. Acesso em 01/07/2020.
- NYTIMES, 2001. **Time Line. Bathed In Story**. Disponível em <https://www.nytimes.com/2001/04/01/t-magazine/time-line-bathed-in-history.html>. Acesso em 01/07/2020.
- RINNAI, 2020. **Smart Start – Sistema de Recirculação Automatizada**. Disponível em <https://www.rinnai.com.br/acessorios/recirculacao-automatizada>. Acesso em 20/09/2020.
- SANEPAR, 2019. **Tabela vigente de consumos e preços da Companhia de Saneamento do Paraná**. Disponível em <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/tabeledetarifas2019-site.pdf>. Acesso em 01/07/2020.
- TIGRE, 2016. **Predial Aquaterm – Catálogo**. Disponível em <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-aquaterm.pdf>. Acesos em 01/07/2020.
- UNITED NATIONS, 2019. **World Population Prospects 2019**. Disponível em <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em 01/07/2020.