UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALINE DOS SANTOS PONTES
EVERTON LUIZ DE MENECH

CRIAÇÃO DE PROTÓTIPO COM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA DA ÁGUA EM CANOS DE PVC

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2019

ALINE DOS SANTOS PONTES
EVERTON LUIZ DE MENECH

CRIAÇÃO DE PROTÓTIPO COM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA DA ÁGUA EM CANOS DE PVC

Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Cesar Betini

CURITIBA
2019

Aline dos Santos Pontes
Everton Luiz De Menech

Criação de protótipo com sistema supervisório para controle de temperatura da água em canos de PVC

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 25 de junho de 2019.

_____
Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

_____
Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

_____
Roberto César Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

_____
Roberto César Betini, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Mariana Antônia Aguiar Furucho, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

_____
Roberto Candido, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

RESUMO

PONTES, Aline; DE MENECH, Everton. **Criação de Protótipo com Sistema Supervisório para Controle de Temperatura da Água em Canos de PVC**. 2019. 70 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

A automação residencial tem sido um artifício que a cada dia é mais difundido para trazer conforto e economia para as residências. Desse modo, o trabalho proposto visa trazer a automação residencial para um sistema de aquecimento de água, no qual, as tubulações em PVC (Policloreto de Vinila) possam ser utilizadas para a circulação de água aquecida. Para isso, foi desenvolvido um sistema supervisório de controle da temperatura da água que irá acessar o encanamento, de modo que, a água que circulará pelo PVC tenha um limite de temperatura satisfatório para fornecer água aquecida e não danificar a estrutura hidráulica. Sendo assim, o sistema proposto visa, além do conforto, trazer economia de energia para a residência, de modo que ao final do trabalho é apresentado o estudo da viabilidade econômica da implementação do sistema. Além disso, vale salientar que a economia de energia é um dos pontos abordados pela Organização das Nações Unidas (ONU) nos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Automação residencial; PVC; Aquecimento de água; Sistema Supervisório; ONU.

ABSTRACT

PONTES, Aline; DE MENECH, Everton. **Creation of Prototype with Supervisory System for Water Temperature Control in PVC Pipes**. 2019. 70 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Residential automation has been a way to bring comfort and economy to homes. Thus, the proposed work aims to bring the residential automation to a water heating system, in which PVC (Polyvinyl Chloride) pipes can be used for the circulation of heated water. For this, a supervisory system of water temperature control has been developed that will access the plumbing, causing the water circulating through the PVC to have a satisfactory temperature limit to provide heated water and not to damage the hydraulic structure. Thus, the system aims, in addition to comfort, to bring energy savings to a residence, so that at the end of the work is presented the study of the economic viability of the implementation of the system. In addition, reduce the energy consumption is one of the 17 objectives of United Nations Organization for sustainable development.

Keywords: Residential automation; PVC; Water heating; Supervisory System; UNO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Camadas de Coletor Solar 23

Figura 2: Inclinação do Coletor Solar 24

Figura 3: Diferença de Altura entre reservatório térmico e coletor solar 25

Figura 4: Disposição dos coletores solares 29

Figura 5: Disposição da caixa de água e do boiler 30

Figura 6: Vista Lateral do esquema de montagem do sistema 31

Figura 7: Válvula solenoide 34

Figura 8: Sensor de nível de água 35

Figura 9: Sensor de Temperatura 35

Figura 10: Motor 28BYJ-48 com driver ULN2003 36

Figura 11: Esquema de controle de temperatura no reservatório térmico ... 37

Figura 12: Sistema supervisório 39

Figura 13: Circuito eletrônico utilizado para controle de temperatura 42

Figura 14: Protótipo do coletor solar 46

Figura 15: Protótipo do reservatório térmico 47

Figura 16: Pá acoplada ao eixo do motor 48

Figura 17: Válvulas do protótipo de reservatório 49

Figura 18: Entrada e saída de água do protótipo do reservatório 49

Figura 19: Sensores de temperatura do protótipo do reservatório 50

Figura 20: Disposição dos sensores de nível de água do protótipo 51

Figura 21: Placa de controle do sistema 52

Figura 22: Protótipo do sistema de aquecimento instalado 54

Figura 23: Teste do Sistema Supervisório 1 55

Figura 24: Teste do Sistema Supervisório 2 56

Figura 25: Teste do Sistema Supervisório 3 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fator de correção da capacidade de pressão do PVC 17
Quadro 2: Classes de Potência de Chuveiros Elétricos 21
Quadro 3: Análise de entrada e saída de dados do controlador..... 40
Quadro 4: Componentes para construir o coletor solar 45
Quadro 5: Custo para a montagem de um sistema de aquecimento solar ... 59
Quadro 6: Custo para a montagem de um sistema de aquecimento a gás... 60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASBC - Aquecedor Solar de Baixo Custo
cm – Centímetro
Copel - Companhia Paranaense de Energia
CPVC – Policloreto de Vinila Clorado
HCl – Ácido Clorídrico
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kcal – Kilocaloria
kg – Kilograma
kgf – Kilograma força
kWh – KiloWatt-hora
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
n.d – Não há Data
PEX – Polietileno Reticulado Monocamada (Cross-linked Polyethylene)
PPR – Polipropileno Copolímero Random (Polypropylene Random Copolymer)
PVC – Policloreto de Vinila (Polyvinyl Chloride)
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Wh – Watt-hora

SUMÁRIO

1 INTRODUCAO 9
1.1 Tema 9
1.1.1 Delimitação do Tema 10
1.2 Problemas e Premissas 10
1.3 Objetivos 11
1.3.1 Objetivo Geral 11
1.3.2 Objetivos Específicos 11
1.4 Justificativa 12
1.5 Procedimentos Metodológicos 13
1.6 Estrutura do Trabalho 14
2 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA 15
2.1 Comportamento Térmico do PVC 15
2.2 Temperatura de Controle do Sistema Supervisório 19
3 COMPORTAMENTO DOS COLETORES SOLARES 23
4 ESTRUTURA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA 29
5 SISTEMA SUPERVISÓRIO DE CONTROLE DE TEMPERATURA 32
5.1 Elipse e Arduino 32
5.2 Instalação dos Componentes do Sistema 34
5.3 Funcionamento do Sistema 38
6 PROTÓTIPO PARA ESTUDO 43
6.1 Montagem do coletor solar, reservatório térmico e placa de controle 43
7 RESULTADOS OBTIDOS 54
8 VIABILIDADE ECONÔMICA 58
9 CONCLUSÃO 62
9.1 Sugestão para trabalhos futuros 63
REFERÊNCIAS 64
ANEXO A – CÓDIGO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA 67

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

O desenvolvimento sustentável tem sido um assunto cada dia mais abordado em diversos âmbitos econômicos e sociais. A Organização das Nações Unidas[1] (ONU) estabeleceu 17 objetivos de desenvolvimento sustentável em 2015, no qual, são estabelecidas metas para que até 2030 todos os países do mundo estejam caminhando para um progresso econômico e social contínuo. Dentre esses objetivos, há a utilização de fontes renováveis de energia para tornar o seu consumo sustentável.

Desse modo, Abiko et al. (2010) observa que são incentivadas pesquisas para elaboração de projetos que tragam alternativas para diminuição de gastos energéticos, como por exemplo, observar quais são os focos de gasto demasiado de energia e buscar meios de reduzi-los.

Com isso, o estudo para economia do consumo de energia tem abrangido também as residências e assim começaram-se os planejamentos para integração de sistemas de automação residencial (DIAS; PIZZOLATO, 2005). Segundo WOLLZ (2012) a automação residencial apresenta valiosos recursos tecnológicos que quando incorporados às instalações domésticas promovem, além de conforto, a economia da energia elétrica. Pois, com um determinado investimento inicial, pode-se obter um retorno em médio/curto prazo através da redução do consumo de energia.

A Associação Brasileira de Automação Residencial destaca que:

> A automação residencial pode ser definida como um conjunto de serviços proporcionados por sistemas tecnológicos integrados, como o melhor meio de satisfazer as necessidades básicas de segurança, comunicação, gestão energética e conforto de uma habitação (AURESIDE, 2012).

Sendo assim, o trabalho proposto busca estudar um método de contribuição para que, através da automação residencial seja possível buscar um gerenciamento sustentável de energia.

---

[1] Disponível em: https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de desenvolvimento-sustentavel-da-onu/ Acesso em: 06 de abril de 2019.

1.1.1 Delimitação do Tema

O consumo sustentável pode envolver diversas gamas de energias renováveis. Nesse estudo foi utilizada a energia solar para auxiliar no gerenciamento de consumo de energia em uma residência.

Além disso, a automação residencial também envolve uma grande gama de áreas, no qual, o estudo terá como foco a criação de um modelo de controle de temperatura da água aquecida por fonte solar. Com esse controle de temperatura, a água aquecida por coletores solares pode acessar o encanamento em PVC da residência, sem a necessidade de modificá-lo para outras tecnologias que suportem altas temperaturas da água.

A água aquecida a uma temperatura não nociva ao encanamento, proporciona um grande conforto aos residentes e economia de energia. Tendo em vista que o aquecimento será feito de forma solar e o controle de temperatura feito por um sistema de baixo consumo, isso irá influenciar diretamente no consumo de energia. Assim, não será necessária a aplicação de uma grande potência nos chuveiros e torneiras elétricas para aquecimento, pois a água já estará em uma temperatura pré-aquecida.

Este método visa a aplicação em qualquer instalação residencial, tendo como foco a utilização do material Policloreto de Vinila (PVC), pois é o único material utilizado nos encanamentos residenciais que não suporta temperaturas mais elevadas. Portanto, são necessários estudos sobre o material visando utilizar a estrutura existente, de modo a facilitar a instalação e utilização do sistema sem a necessidade de modificações estruturais da residência.

1.2 Problema e Premissas

Uma instalação hidráulica é a alocação de tubos para condução de água. A partir da década de setenta, o Policloreto de Vinila (PVC) passou a ser a preferência dos consumidores para a montagem do encanamento residencial pela alta eficiência e baixo custo. Desse modo, atualmente, o principal material das instalações hidráulicas das residências no Brasil são feitas de PVC (BRANDÃO, 2010).

Quando é requisitado um aquecimento de água através da fonte solar, a tubulação recomendada é o Cobre, CPVC (Policloreto de Vinila Clorado), PEX

(Polietileno Reticulado) ou PPR (Polipropileno Copolímero Random), por suportarem altas temperaturas sem que haja danificação do encanamento (BRANDÃO, 2010). Porém, o PVC apresenta determinada sensibilidade em relação a altas temperaturas, havendo um intervalo limite ao qual o PVC suporta sem que suas propriedades químicas e físicas sejam alteradas. Desse modo, é necessário um controle de temperatura antes que a água passe a circular pelo encanamento, proporcionando segurança da instalação e o aquecimento da água.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é implementar um sistema automatizado de controle de temperatura, para que canos de uma tubulação de PVC suportem água aquecida no intervalo de temperatura estudado, sem que haja modificações estruturais da residência.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para o cumprimento do objetivo geral, são necessárias algumas etapas, que constituem os objetivos específicos do trabalho, sendo eles:

- Estudar o comportamento térmico do material Policloreto de Vinila (PVC).
- Identificar as características e funcionamento das placas de aquecimento solar.
- Implementar um sistema de controle de temperatura, através de microcontrolador, em uma residência com encanamento PVC, sendo o armazenamento da água aquecida em reservatório térmico.
- Avaliar a viabilidade econômica da implementação do sistema de controle proposto.

1.4 Justificativa

O custo para uma residência automatizada ainda é muito alto para a maioria da população, porém, é possível encontrar metas de estudo que possam fornecer tecnologias de acordo com as necessidades e poder aquisitivo do indivíduo (CARDOSO; FREITAS; WORTMEYER, 2005). Por isso, a proposta de trabalho salienta a utilização do encanamento já existente nas residências, que no Brasil são utilizados no material PVC, proporcionando a implementação do sistema de controle de temperatura mais viável, de modo que não precise realizar modificações estruturais da residência.

Sendo assim, a economia é um ponto importante do estudo, pois, ela está diretamente ligada à instalação do sistema e ao consumo de energia que a água pré-aquecida fornece. Geralmente, para instalação de aquecimento solar de água, a etapa de maior custo é a implementação de canos próprios para o suporte da água aquecida, e com o estudo apresentado, não seria necessária essa etapa, proporcionando uma economia significativa.

Além disso, o maior custo de consumo de energia elétrica residencial é proveniente de aquecimento de resistências elétricas, ou seja, uma residência com água a temperatura ambiente necessita de maior tempo de aquecimento da resistência elétrica para a água chegar a uma temperatura agradável, gerando maior custo. Caso a água encontre-se pré-aquecida, o tempo de aquecimento da resistência elétrica seria consideravelmente menor, proporcionando uma economia no consumo.

Outro aspecto importante do trabalho é a utilização da energia solar como meio de aquecimento de água, sendo que, a energia solar é uma fonte renovável, a qual contribui para o desenvolvimento sustentável do planeta.

Uma residência com qualquer tipo de automação, segundo Messias (2007), deve promover ao usuário conforto, segurança e economia em custos diretos (consumo de energia, por exemplo) e indiretos (manutenção, instalação e operação do sistema). Sendo assim, o estudo visa proporcionar economia e conforto para o usuário através da junção de tecnologias de microcontroladores e equipamentos existentes no mercado.

1.5 Procedimentos Metodológicos

Para a realização do trabalho é necessário, primeiramente, um estudo do comportamento térmico do PVC e do material utilizado para sua conexão, em temperaturas mais elevadas que a temperatura ambiente. Sendo assim, pesquisas bibliográficas e eletrônicas de artigos científicos, dissertações e teses serão fundamentais para essa etapa do trabalho, pois através das informações levantadas que a criação do sistema de controle de temperatura e a análise de viabilidade foram baseadas.

Depois de concretizadas as informações do comportamento térmico do PVC e seu material de junção, inicia-se o estudo da norma NBR (Norma Brasileira Regulamentadora)7198, referente a Instalações Prediais de Água Quente. A partir dessa norma, pode-se englobar informações sobre as exigências de higiene, segurança, economia e conforto dos usuários.

Além disso, será utilizada a norma NBR 5626 que trata a respeito de Instalações Prediais de Água Fria, a qual dará diretrizes do efeito da temperatura da água em relação ao coeficiente de segurança do PVC, pois, nela é descrito processos de instalação e manutenção que podem ser integrados com outras normas (como a NBR 7198) referentes a instalações prediais de água.

Em relação a utilização da fonte solar como forma de aquecimento da água, são utilizadas as seguintes normas para estudo:

- NBR 15569: Sistema de Aquecimento solar de água em circuito direto: Projeto e Instalação.
- NBR 15747: Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares - Parte 1: Requisitos gerais.

Concluídas essas etapas de estudos e definições básicas, pode-se começar o desenvolvimento do sistema de controle de temperatura. Para isso, o microcontrolador utilizado foi o Arduino em comunicação Modbus com o software Elipse[2] SCADA. O sistema supervisório foi utilizado como interface de leitura de dados de sensores, como o de temperatura e de nível de água, que controlam

[2] ELIPSE SOFTWARE. Disponível em: https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/ Acesso em: 08 de abril de 2018

motores e também, abertura e fechamento de válvulas para entrada e saída de água.

O sistema supervisório é disponibilizado via computador para que o usuário possa ligar/desligar o sistema de controle e também visualizar dados importantes, como a temperatura da água no reservatório térmico.

Sendo assim, os procedimentos metodológicos citados devem ser seguidos conforme a ordem ao qual foram apresentados, pois, trata-se de uma hierarquia de informações, onde uma etapa não pode iniciar sem que a anterior seja concluída.

1.6 Estrutura do Trabalho

Os capítulos e seus objetivos para o estudo são:

- Capítulo 1 - Introdução ao tema.
- Capítulo 2 - Temperatura de operação do sistema: Buscar informações a respeito do intervalo de temperatura ao qual o PVC atua sem que haja modificações consideráveis da sua estrutura física e química.
- Capítulo 3 - Comportamento dos coletores solares: Analisar o funcionamento, comportamento e viabilidade das placas solares para aquecimento da água do reservatório.
- Capítulo 4 - Estrutura do sistema de aquecimento de água: Demonstração do objetivo de montagem do sistema de aquecimento de água, considerando todos os componentes.
- Capítulo 5 – Sistema supervisório de controle de temperatura: Desenvolvimento do sistema para controlar a temperatura através da entrada e saída de água. Esse capítulo envolverá todo o procedimento de programação microcontrolada e seus respectivos softwares de apoio.
- Capítulo 6 – Protótipo de Estudo: Montagem dos coletores solares e do sistema de armazenamento e controle da água aquecida.
- Capítulo 7 - Viabilidade econômica: Envolve a viabilidade de instalação e manutenção do sistema e também uma demonstração da economia de energia elétrica decorrente da implementação do sistema.
- Capítulo 8 - Conclusão: Apresentação da viabilidade de implementação do sistema, assim como, as vantagens e desvantagens do sistema proposto.

2 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

A partir da década de sessenta, o PVC tem sido amplamente difundido em instalações hidráulicas, que consiste da instalação de dutos para proporcionar a condução de fluídos. O caso mais comum que se pode visualizar a utilização do PVC é para o encanamento residencial, no qual abrange a maior parte das instalações de água fria no Brasil (BRANDÃO, 2010).

Depois que se desenvolveram os métodos de aquecimento de água, as residências começaram a ter a opção de serem construídas com encanamento de cobre ou de outros tipos de polímeros, para possibilitar a circulação de água fria e quente (BRANDÃO, 2010). Porém, como trata-se de um custo superior a instalação de dutos em PVC, os encanamentos em cobre ainda não são uma opção economicamente viável para a maior parte das residências no Brasil.

Com isso, nesse capítulo o objetivo é estudar qual a temperatura da água que o encanamento de PVC pode trabalhar, sem que haja nenhuma deformidade em sua estrutura e possa conduzir a água sem nenhum risco de contaminação ou degradação. De modo que, posteriormente, o estudo de aquecimento e controle de temperatura seja realizado considerando a temperatura de trabalho do PVC, garantindo a segurança dos usuários do sistema hidráulico da residência.

2.1 Comportamento Térmico do PVC

O PVC é o material mais utilizado em residenciais, pois apresenta vida útil entre vinte e cem anos. Desse modo, cerca de 42% de todo o PVC fabricado no mundo é destinado para a instalação hidráulica em residências, pois o material apresenta ótimas características químicas, financeiras e de tempo de vida (BRASKEM, 2009).

A temperatura usual de funcionamento do PVC é na ordem de 23 °C, garantindo uma alta confiabilidade quando os encanamentos possuem circulação de água na temperatura ambiente. Porém, há um intervalo de temperatura de operação do PVC maior quando se considera aspectos de degradação do material.

O PVC possui um intervalo de temperatura, denominado de período de estabilidade térmica, no qual para uma determinada temperatura é definido qual o tempo de aplicação no material até que o mesmo comece o processo de

degradação. O processo de degradação no PVC consiste na mudança de aspectos físicos e químicos de modo que prejudique o sistema ao qual está inserido, como por exemplo, para um encanamento de água, o PVC que está sofrendo degradação térmica pode liberar HCl (ácido clorídrico) nos fluídos e também deformar a sua estrutura física (JUNIOR; MEI, 2007).

Segundo Junior e Mei (2007), o processo de degradação do PVC ocorre em temperaturas ligeiramente inferiores a 100 °C, de modo que, não se pode determinar com certeza uma temperatura fixa de degradação, pois o local ao que o material é sujeito é subjetivo a questões de temperatura e pressão.

Desse modo, Timm (2018) afirma que, geralmente, o limite máximo de operação de temperatura do PVC é de 60 °C, sendo que, até essa temperatura o material continua com suas propriedades físicas e químicas sem alteração, ou seja, o material continua em operação normal. Porém, temperaturas superiores a 60 °C colocam em risco a integridade da estrutura do PVC. De modo geral, com o aumento gradativo a cada 12 °C, há uma deformação de aproximadamente 9 mm para cada 30 metros de comprimento. Esse fenômeno ocorre independentemente do diâmetro do encanamento para quando excedesse a temperatura de 60 °C.

Além disso, há o efeito na capacidade de pressão (quanto de pressão é suportado sem que suas propriedades físicas e químicas sejam alteradas) do PVC caso a temperatura de aplicação em operação contínua seja maior que a temperatura ambiente (TIMM, 2018). Desse modo, no Quadro 1 pode-se observar os fatores de correção de capacidade de pressão do PVC para as temperaturas de operação aproximadas. Sendo que, o valor do Quadro 1 indica qual fração deve ser multiplicada pela pressão em temperatura ambiente, para que o PVC possa atuar na temperatura correspondente a temperatura de operação desejada. O resultado dessa multiplicação é a capacidade de pressão do PVC para determinada temperatura.

Quadro 1: Fator de correção da capacidade de pressão do PVC.

Temperatura de Operação (°C)	Fator de Correção
23	1
26	0,88
32	0,75
38	0,62
43	0,50
48	0,40
54	0,30
60	0,22

Fonte: Adaptação de ("Pressure/Temperature Relationship"[3], n.d.).

Diversos fabricantes utilizam 60 °C como limite máximo de temperatura em operação contínua do tubo de PVC e com isso, há apenas fatores de correção de capacidade de pressão para as temperaturas entre 23 °C a 60 °C. Desse modo, a Engineering ToolBox (2010) realizou um estudo da temperatura de operação de tubos PVC sem considerar uma pressão quantitativa expressiva e para essa pressão, foi estipulada uma temperatura de operação segura de 38 °C para tubos em PVC.

Quando realiza-se um estudo similar considerando um fabricante brasileiro de tubos de PVC, como por exemplo a fabricante Tigre[4] e uma residência usual de dois andares (para considerar uma pior condição de pressão), pode-se utilizar o princípio da Pressão Hidrostática para verificar a pressão ao qual a tubulação estaria sujeita em uma situação usual. Desse modo, pela equação (1) da Pressão Hidrostática (BERTULANI, 1999).

$$\mathbf{P} = \mathbf{d} * \mathbf{g} * \mathbf{h} \ [\mathrm{kgf/cm^2}] \qquad (1)$$

Onde, **P** é a pressão hidrostática, **d** é a densidade da água, o **g** é a aceleração da gravidade e **h** é a altura de operação do tubo PVC. Segundo

[3] Disponível em: http://www.charlottepipe.com/Documents/PL_Tech_Man/Temp_DeRating.pdf Acesso em: 07 de abril de 2019.
[4] Disponível em: https://www.tigre.com.br/ Acesso em: 08 de setembro de 2018.

Lide(1990) a densidade da água em 40 °C é de aproximadamente 992,2 kg/m² e a aceleração da gravidade é de 9,8 m/s². Para exemplo de aplicação da equação (1), considerando uma altura de operação de 5 m, ou seja, aproximadamente a altura da caixa de água de uma casa de dois andares, tem-se a seguinte relação:

$$\mathbf{P = 992,2 * 9,8 * 5}$$

$$\mathbf{P = 48,62\ kPa = 0,49\ kgf/cm^2}$$

Sendo assim, a pressão hidrostática de 0,49 kgf/cm² seria a pressão aproximada que a circulação de água estaria exercendo no encanamento de PVC.

Para encontrar a capacidade de pressão considerando uma temperatura de operação de 38 °C, utiliza-se a equação (2):

$$\mathbf{Capacidade\ Pressão_{38°C} = Capacidade\ \ Pressão_{23°C} * Fator\ Correção}\ [\mathrm{kgf/cm^2}] \quad (2)$$

Pelos catálogos[5] de tubos da fabricante Tigre, tem-se que a capacidade de pressão é de 7,5 kgf/cm² para uma temperatura de operação de 23 °C. Com isso, conforme o Quadro 1, considerando uma temperatura de operação de aproximadamente 38 °C, o fator de correção da capacidade de pressão é de 0,62, de modo que, a capacidade de pressão do tubo PVC do fabricante Tigre corrigido para a situação descrita é:

$$\mathbf{Capacidade\ Pressão_{38°C} = 7,5 * 0,62 = 4,65\ kgf/cm^2}$$

Desse modo, conforme o exemplo calculado anteriormente, a pressão para uma casa de dois andares seria de 0,49 kgf/cm², que é aproximadamente nove vezes menor que a capacidade de pressão corrigida para a pressão no PVC a uma temperatura de 38 °C.

Os cálculos realizados foram baseados no catálogo técnico da Tigre, que é um fabricante brasileiro utilizado na maioria das residências. Porém, essas especificidades técnicas, como capacidade de pressão, não modificam

[5] Disponível em: https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf Acesso em: 08 de setembro de 2018

significantemente em outros fabricantes. Alguns fabricantes como Plastubos[6], Amanco[7] e Plastilit[8] são exemplos desse fato, pois em todos eles a capacidade de pressão é na ordem de 7,5 kgf/cm².

Sendo assim, pode-se observar que os fabricantes de tubos de PVC seguem as mesmas especificidades técnicas, no qual a capacidade de pressão possui a mesma ordem de grandeza e o fator de correção dessa capacidade varia da mesma maneira, conforme o Quadro 1, para as diversas temperaturas entre 23 e 60 °C.

Além de que, observou-se que a pressão hidrostática nos tubos de PVC em uma residência é em uma ordem de até nove vezes menor que a capacidade máxima de pressão suportada, mesmo considerando o fator de correção para temperaturas maiores que a temperatura ambiente. Mas, ainda assim deve-se assumir que há um risco em utilizar o PVC com pressão abaixo da especificada pelo fabricante. Por esse fato é necessário que sejam refeitos os cálculos de pressão hidrostática, conforme equação (1), para a altura máxima de operação dos canos de PVC da residência.

Portanto, através das informações apresentadas pode-se concluir que a água em uma temperatura de 38 °C nos tubos em PVC, do encanamento de uma residência, são seguros para operação normal do sistema, considerando os parâmetros de pressão e temperatura citados. Com isso, para o sistema supervisório de controle de temperatura do trabalho de conclusão de curso apresentado, a temperatura de controle será na faixa de 38 °C. A escolha dessa temperatura é justificada no capitulo 2.2 de Temperatura de Controle do Sistema Supervisório.

2.2 Temperatura de Controle do Sistema Supervisório

Há referências normativas que apresentam parâmetros de temperatura residencial ao qual se pode observar que 38 °C é adequada para uma instalação predial de água quente. A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 7198 de 1982 possui vastas informações sobre temperaturas de operação de diferentes locais de uma residência. Porém, a edição de 1982 foi substituída pela NBR 7198 de 1993, na

[6]Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/plastubos/catalogo_plastubos.pdf Acesso em: 08 de setembro de 2018
[7]Disponível em: http://amanco.com.br/produtos/predial/agua-fria/amanco-soldavel/tubo-de-pvc Acesso em: 08 de setembro de 2018
[8]Disponível em: http://www.plastilit.com.br/upload/download/6.pdf Acesso em: 08 de setembro de 2018

qual não se encontra nenhum dado quantitativo, pois, justificou-se a mudança pelo fato das variações de locais e condições de instalação serem totalmente diversas, sendo necessário um estudo particular para cada caso.

Porém, conforme a NBR 7198/82 é possível ter um parâmetro quantitativo da média de temperatura utilizada em uma residência para que o estudo apresentado nesse trabalho possa ter uma estimativa inicial de temperatura. Sendo assim, para uso pessoal e banhos quentes o intervalo médio de temperatura utilizado é de 35 a 50 °C.

A água aquecida em uma residência é utilizada para determinadas finalidades, como por exemplo, em torneiras e chuveiros. Com isso, é necessário conhecer a temperatura ideal para o usuário lavar o rosto e/ou as mãos na torneira com a água em estado agradável, assim como, o banho em dias frios.

Segundo Prado e Guimarães (2017), banhos quentes, normalmente, tem uma temperatura superior a 38 °C, sendo assim, essa é a temperatura mínima de aquecimento para a água ser confortável ao usuário. Porém, como esse é o limite estipulado de controle de temperatura para o sistema supervisório, pode-se observar que a água, quando acessa o sistema de aquecimento do chuveiro, encontra-se em uma temperatura pré-aquecida. Desse modo, não é necessário consumir tanta energia quanto seria necessário para o caso de a água acessar o sistema do chuveiro em temperaturas mais baixas, como por exemplo, à temperatura ambiente.

Pela tabela de consumo de chuveiro elétrico do Inmetro (2016) é possível obter informações referentes à tensão, potência e consumo de energia em relação com a elevação de temperatura. Nesse mesmo documento são apresentadas diversas marcas, famílias e modelos de chuveiros, sendo que, cada um acompanha as especificações técnicas de tensão, potência, consumo máximo e elevação de temperatura máxima.

Sendo assim, realizou-se uma observação dos valores médios apresentados em relação às especificações técnicas. Em relação a tensão e a potência do chuveiro, utilizando como referência a região sul do Brasil (local onde há as situações mais críticas de classe de potência), as classes de potência utilizadas para essa região são as classes F e G conforme o Quadro 2. De modo que, quanto maior a classe de potência, maior o consumo de energia elétrica.

Quadro 2: Classes de Potência de Chuveiros Elétricos.

CLASSES DE POTENCIA	POTENCIA (W)	UTILIZAÇÃO
A	P ≤ 2.400	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS QUENTES, COMO A REGIÃO NORTE
B	2.400 > P ≤ 3.500	
C	3.500 > P ≤ 4.600	
D	4.600 > P ≤ 5.700	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MÉDIOS A QUENTES, COMO AS REGIÕES NORDESTE E CENTRO-OESTE
E	5.700 > P ≤ 6.800	
F	6.800 > P ≤ 7.900	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS FRIOS, COMO AS REGIÕES SUL E SUDESTE
G	P > 7.900	

Fonte: INMETRO (2016).

Nenhuma marca, modelo ou família de chuveiro elétrico declarado pelo Inmetro (2016) possui a classe de potência G, apenas de A a F. Sendo assim, o pior caso que pode-se observar em relação ao consumo de energia é o chuveiro elétrico de classe F, onde a média de potência utilizada é de 7500 W. Para essa potência o consumo médio é de aproximadamente 32 kWh/mês, para uma elevação de temperatura máxima de aproximadamente 34 °C acima da temperatura ambiente (INMETRO, 2016). Sendo assim, pode-se observar que quanto maior for a elevação de temperatura da água, maior será o consumo de energia. Essa afirmação também pode ser observada através da Lei de Joule (3) (GUEDES, 2000).

$$\mathbf{Q} = \mathbf{I}^2 * \mathbf{R} * \mathbf{t} \quad [\text{kcal}] \qquad (3)$$

Onde, **Q** é a calor gerado por uma corrente **I** percorrendo uma resistência elétrica, **R** é a resistência elétrica do sistema e **t** é o tempo em que essa corrente percorre a resistência. Pode-se também, analogamente, utilizar a Lei de Ohm para reestruturar a Lei de Joule, onde a Lei de Ohm (4) é dada pela tensão (V) como produto da resistência (R) pela corrente (I) (BISQUOLO, 2010).

$$\mathbf{V} = \mathbf{R} * \mathbf{I} \rightarrow [\text{V}] \qquad (4)$$

E a Lei de Joule reformulada é dada por (5).

$$\mathbf{Q} = \mathbf{V} * \mathbf{I} * \mathbf{t} = \mathbf{R} * \mathbf{I^2} * \mathbf{t} \quad [\text{kcal}] \qquad (5)$$

Sendo assim, observa-se que a corrente **I** que percorre a resistência **R** é diretamente proporcional ao calor gerado **Q**, e conforme a equação da energia (6)

$$\mathbf{E} = \mathbf{V} * \mathbf{I} * \mathbf{t} \ [\mathrm{Wh}] \quad (6)$$

Onde **E** é a energia em Wh consumida, **V** é a tensão, **I** é a corrente e **t** é o tempo em que essa corrente percorre o sistema (BISQUOLO, 2010). Com isso, pode-se observar que a corrente é diretamente proporcional ao consumo de energia. Sendo assim, através das equações (5) e (6) pode-se assumir que a elevação de temperatura da água do chuveiro é diretamente proporcional a energia que será consumida, pois, assume-se que a tensão é constante durante todo o tempo de operação do sistema.

Portanto, conforme já citado, a temperatura do reservatório térmico de água será ajustado para 38 °C. Conforme os dados do Inmetro (2016) a máxima elevação de temperatura é de aproximadamente 34 °C em um chuveiro, considerando que a água acesse o sistema do chuveiro com temperatura ambiente de 25 °C, a temperatura da água poderia chegar ao máximo em 59 °C, caso houvesse a máxima elevação de temperatura, e então haveria um consumo máximo de energia.

Sendo assim, caso a temperatura de acesso ao sistema fosse 38 °C (não mais 25 °C da temperatura ambiente) para 59 °C seria necessário uma elevação de temperatura de 21 °C, não mais de aproximadamente 34 °C, que seria a elevação de temperatura para um consumo máximo. Com isso, pode-se assumir que o consumo de energia diminuiria com a água acessando o sistema em estado pré-aquecido.

Concluindo, nota-se que com um controle de temperatura de 38 °C é possível proporcionar ao usuário água em temperatura confortável para utilização, além de economizar em consumo de energia elétrica durante a utilização do chuveiro. Pois a água acessando, por exemplo, o chuveiro à 38 °C, a energia gasta para aquecer essa água seria menor que para aquecer a água numa temperatura ambiente.

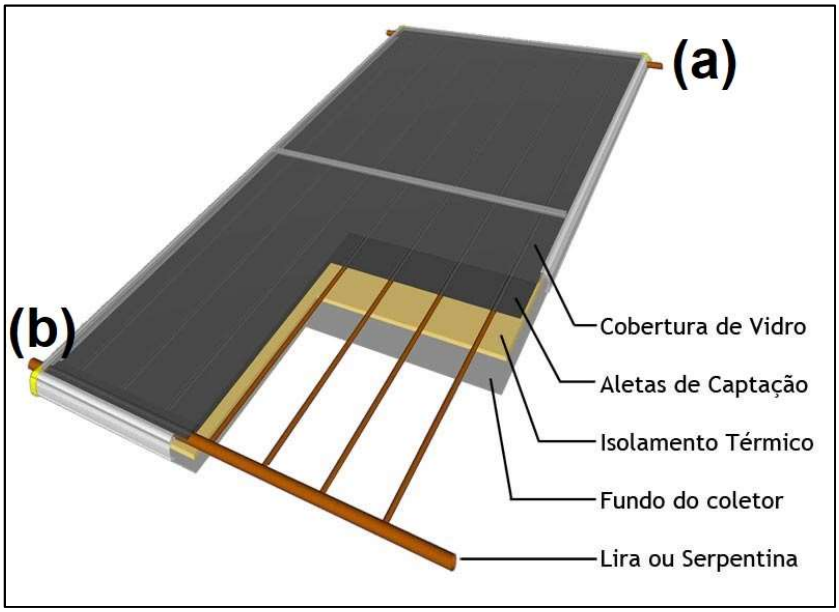
3 COMPORTAMENTO DOS COLETORES SOLARES

Os coletores solares foram escolhidos como sistema de aquecimento residencial de água, pois, dentre os sistemas de aquecimento atuais, os coletores são os que apresentam maior simplicidade, confiabilidade e pouca manutenção, além de não consumir energia elétrica e não causar poluição (BASSO et al., 2010).

O coletor solar é responsável pela conversão da energia solar em energia térmica através da convecção de calor. A convecção é o movimento do fluído que ocorre devido à sua diferença de densidade, de modo que, a densidade varia conforme a temperatura. Sendo assim, para atingir o equilíbrio térmico ocorre a convecção natural, onde a água em maior temperatura possui menor densidade e com isso tende a subir, enquanto a água fria possui maior densidade tende a descer (MARTON, 2009).

Na Figura 1 pode-se observar uma placa de coletor solar, na qual descreve quais as camadas que o constitui. De modo que, na primeira camada da placa há a cobertura de vidro que é responsável pelo seu fechamento. Embaixo da camada de vidro há o esqueleto, que são os tubos pelos quais a água circula, e juntamente com o esqueleto há as aletas de cor escura para captação mais eficiente do calor do sol. Para reduzir a perda de calor para o ambiente há a camada de isolante térmico, que é colocado diretamente no fundo da placa (WGSOL, n.d.).

Figura 1: Camadas de Coletor Solar.

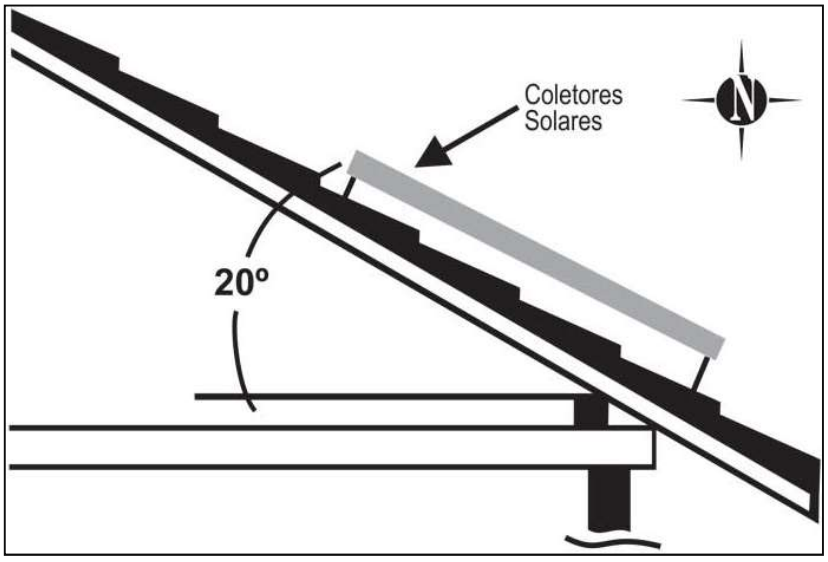


Fonte: (WGSOL, n.d.).

A serpentina indicada na Figura 1 é onde ocorre a entrada e saída de água do reservatório, de modo que na serpentina inferior (indicada em (b)) ocorre a entrada de água fria e na superior (indicada em (a)) ocorre a saída da água aquecida para o reservatório.

Em relação à instalação dos coletores solares há alguns requisitos técnicos que devem ser considerados, como a inclinação dos coletores, diferença de altura entre os coletores solares e o reservatório, e a posição em relação à incidência solar. Na inclinação dos coletores solares é recomendada a inclinação de 20° para evitar a formação de bolhas de ar que podem interromper a circulação de água pela serpentina, como observa-se na Figura 2 (SOLARTEC, n.d.).

Figura 2: Inclinação do Coletor Solar.

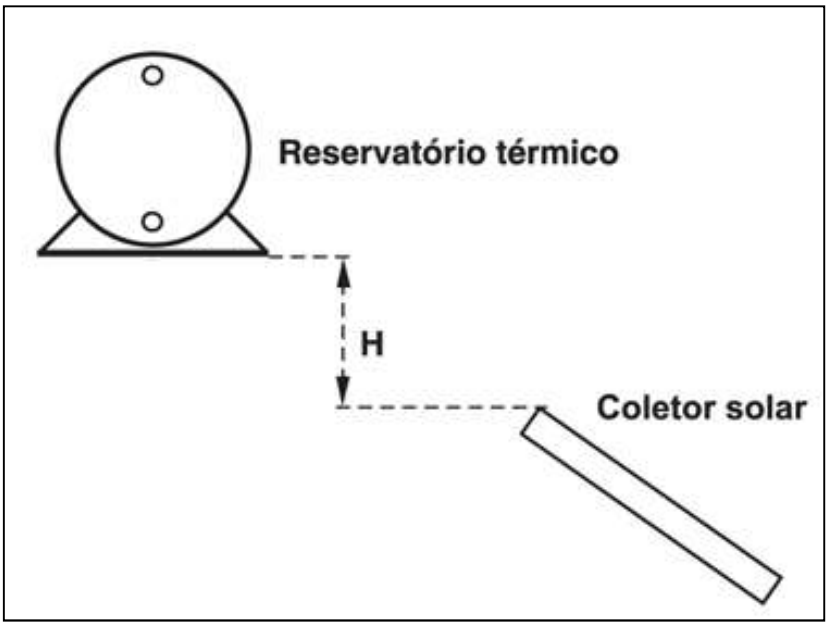


Fonte: (SOLARTEC, n.d.).

Caso a latitude do local seja conhecida, é recomendado que a inclinação da placa seja igual à inclinação da latitude do local para maior eficiência da absorção da irradiação solar (COIMBRA et al., 2008).

Além disso, deve haver também uma diferença de altura entre o reservatório e o coletor solar para evitar que haja refluxo da água, essa altura normalmente é cerca de 50 a 60 cm, conforme apresentado na Figura 3, onde H é a diferença de altura (COIMBRA et al., 2008).

Figura 3: Diferença de Altura entre reservatório térmico e coletor solar.



Fonte: (RINNAI, n.d.).

Por fim, deve-se posicionar corretamente as placas para obter maior eficiência solar, no qual sua direção deverá ser sempre que possível voltado para o norte. Essa posição foi estabelecida para todas as regiões do Brasil devido a direção do sol no inverno, pois nessa estação o sol cruza o céu inclinado ao norte e é no inverno que a necessidade de água aquecida é maior. Quando não há condições ideais de posicionar os coletores solares ao norte, por exemplo, pela alta incidência de sombras, aumenta-se o número de placas nas direções leste ou oeste (SOLARTEC, n.d.).

Quando há mais que um coletor solar para suprir a demanda do local, deve-se escolher o tipo de ligação que será feita entre os módulos. Os dois tipos mais comuns de ligação é a série e a paralelo.

Na conexão dos módulos do coletor solar em série, a saída do primeiro coletor é conectada diretamente na entrada do próximo e assim sucessivamente até que todos os módulos estejam ligados. Com essa configuração, a temperatura da água na entrada de cada coletor é maior que no coletor anterior, pois, a água mais aquecida sempre segue para a parte inferior para que aqueça novamente e assim, por convecção, vá para a parte superior do próximo módulo. Com isso, pode-se atingir altas temperaturas da água (ENERGIA SOLAR, 2018).

Na conexão em paralelo dos coletores solares, tanto a saída quanto à entrada dos coletores são conectadas aos pontos de entrada e saída entre eles. Com essa configuração a temperatura da água na entrada de um coletor é a mesma para a entrada dos demais coletores (ENERGIA SOLAR, 2018).

Para dimensionar a área de coletores solares do sistema de aquecimento de água é necessário utilizar a equação (7) (VARELLA;GUERRA, 2014).

$$\mathbf{S} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{I}*\mathbf{n}} \ [\mathrm{m}^2] \tag{7}$$

Sendo que **S** é a área dos coletores em m², **I** é a intensidade de radiação solar em kcal/m², **n** é o rendimento do aproveitamento da energia solar e **Q** é a quantidade de calor em kcal. Onde Q é dado pela equação (8) (RUSSEL, 1994):

$$\mathbf{Q} = \mathbf{m} * \mathbf{c} * \Delta\mathbf{T} \ [\mathrm{kcal}] \tag{8}$$

No qual, **Q** é a quantidade de calor em kcal, **m** é a massa da água em kg, **c** é o calor específico da água em $kcal.kg^{-1}.C^{-1}$ e $\Delta\mathbf{T}$ é a variação de temperatura em °C. Através da equação pode-se calcular a quantidade de calor adotando c = $1kcal.kg^{-1}.C^{-1}$. Para a variação de temperatura adota-se como temperatura máxima de operação do coletor solar 65 °C e a temperatura ambiente de 25 °C, pois 65 °C é a temperatura máxima que os sistemas de aquecimento solar tradicional geralmente atingem (WGSOL, n.d.). Sendo assim,

$$\Delta\mathbf{T} = \mathbf{65} - \mathbf{25} = \mathbf{40}\ \mathbf{°C}$$

O valor da massa da água escolhido para exemplificar o cálculo, será utilizado com base na quantidade de litros por dia que uma pessoa consome. Segundo a SABESP[9] uma pessoa consome por dia no máximo 200 litros de água, sendo que o consumo médio é na faixa de 100 litros, ou seja, 100 kg. Para o trabalho de conclusão de curso apresentado adota-se o consumo médio e uma residência com quatro pessoas, tendo um consumo de 400 kg de água por dia, de modo que esse será o valor de massa utilizado para calcular a área de coletores

[9] Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=595 Acesso em: 10 de outubro de 2018

necessária para suprir o consumo de água quente para as quatro pessoas na residência. Sendo assim, calcula-se a quantidade de calor através da equação (8):

$$\mathbf{Q = 400 * 1 * 40 = 16000\ kcal}$$

Desse modo, para calcular a área de coletores necessária para suprir a quantidade de calor do exemplo, é necessário estabelecer um rendimento do aproveitamento da energia solar, que nesse caso será adotado como 50%. Esse valor foi escolhido com base no registro de rendimento dos coletores solares registrados pelo Inmetro[10] que atuam com um rendimento médio em aproximadamente 50%.

Além disso, é necessário estabelecer a irradiação solar média incidente nos coletores solares. Segundo Varella e Guerra (2014) em qualquer região do Brasil a variação da irradiação solar está entre 4,2 a 6,7 kWh/m². Para o exemplo utilizado no trabalho, a irradiação média é dada por:

$$\mathbf{I_{média} = \frac{4,2 + 6,7}{2} = 5,44\ kWh/m^2}$$

De modo que, tem-se a relação que 1 kWh corresponde a 860,42 kcal, sendo assim, para 5,44 kWh/m² tem-se aproximadamente 4680 kcal/m². Com isso, pode-se calcular a área de coletores solares necessária para a situação descrita pela equação (7):

$$\mathbf{S = \frac{16000}{4680 * 0,5} = 6,84\ m^2}$$

Sendo assim, é necessária uma área de 6,84 m² de coletores solares para suprir um consumo de quatro pessoas em uma residência, considerando um rendimento de 50% e irradiação média do país. Para atingir essa área pode-se fracionar em, por exemplo, três coletores de 2 m² e um coletor de 1 m².

[10]Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf Acesso em: 10 de outubro de 2018

As principais normas que referenciam o uso de coletores solares para aquecimento de água é a NBR 15569 e NBR 15747. A NBR 12269 relata sobre os componentes necessários para realizar o aquecimento solar, utilizando-se coletores solares, consistem em: coletores solares, reservatórios e componentes de aquecimento auxiliar, se necessário. Desse modo, são descritos todos os aspectos relevantes para instalação e manutenção do sistema de aquecimento, além de aspectos que devem ser considerados para operação, segurança e proteção do sistema. Para garantir uma alta confiabilidade e durabilidade dos coletores solares são realizadas verificações e ensaios conforme a NBR 15747.

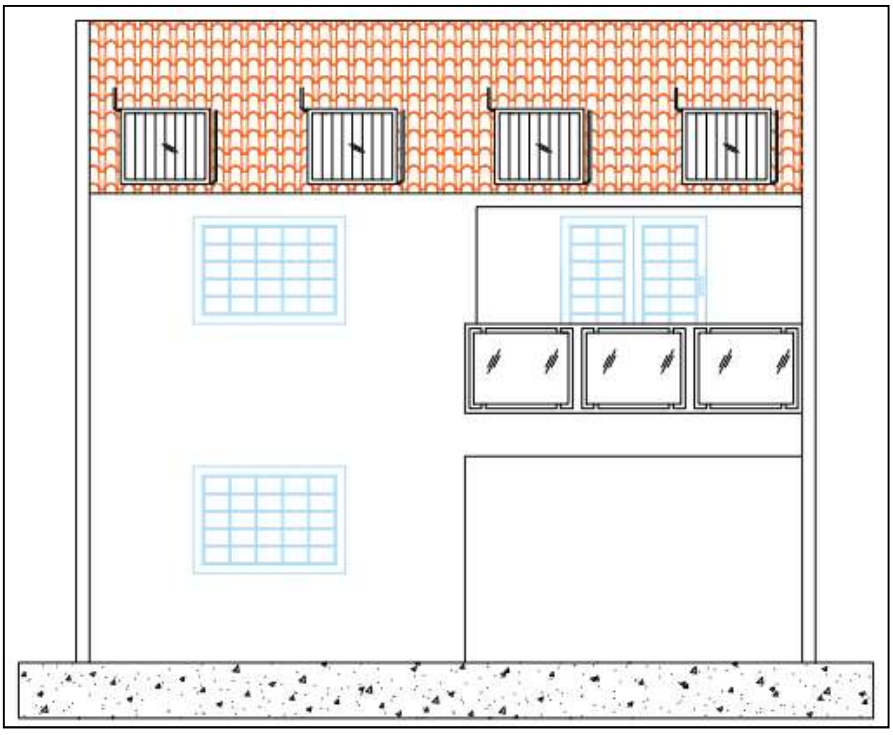
Com isso, pode-se concluir que os coletores solares são uma escolha segura e eficiente para realizar o aquecimento da água, que é um passo essencial para o prosseguimento do desenvolvimento do sistema supervisório.

4 ESTRUTURA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de aquecimento de água possui componentes essenciais como os coletores solares, reservatório térmico (também conhecido como boiler) e as tubulações para distribuição da água. Para o trabalho apresentado, utilizou-se como exemplificação de uso, um esquemático de uma casa de dois andares, conforme os cálculos e verificações de temperatura e pressão apresentado no Capítulo 2. Há também um reservatório térmico de 400 litros, considerando que essa residência tenha quatro pessoas e que o consumo médio seja de 100 litros por pessoa por dia, conforme apresentado no Capítulo 3.

Sendo assim, na Figura 4 pode-se observar um exemplo de disposição dos coletores solares, no qual, conforme os cálculos para dimensionar a área de coletores no Capítulo 3 e os tamanhos padronizados comercialmente, escolheu-se quatro coletores de 2 m² , totalizando uma área total de 8 m², ao qual supri a área calculada de 6,84 m² para um consumo de 400 litros de água por dia. Nota-se que os quatro coletores estão ligados em paralelo (no Capítulo 3 e parágrafo 11 é descrito como é realizada essa ligação), usualmente essa estrutura é feita na parte interior do telhado.

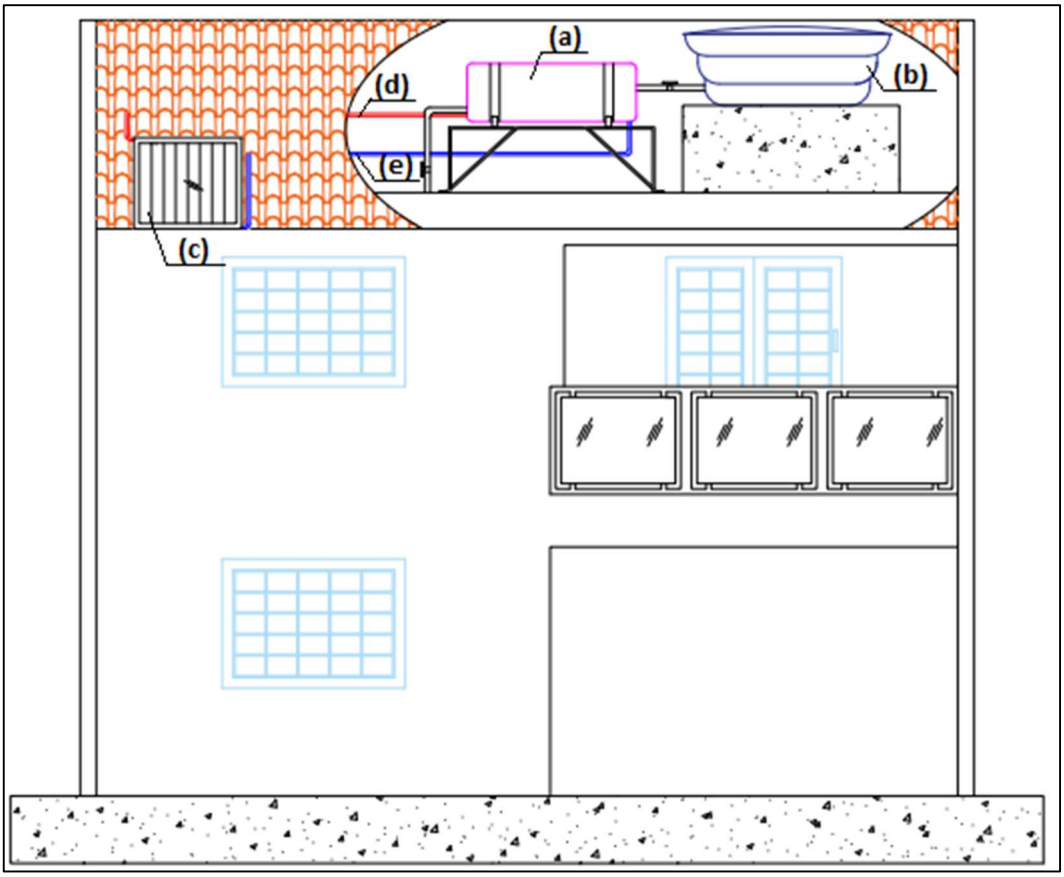
Figura 4: Disposição dos coletores solares.



Fonte: Própria.

Para manter o abastecimento de água do boiler (a), utiliza-se a caixa de água (b), conforme a Figura 5. Nessa figura pode-se observar que a caixa de água e o boiler, estão com uma diferença de altura para que a ação da gravidade atue para manter o boiler sempre abastecido.

Figura 5: Disposição da caixa de água e do boiler.

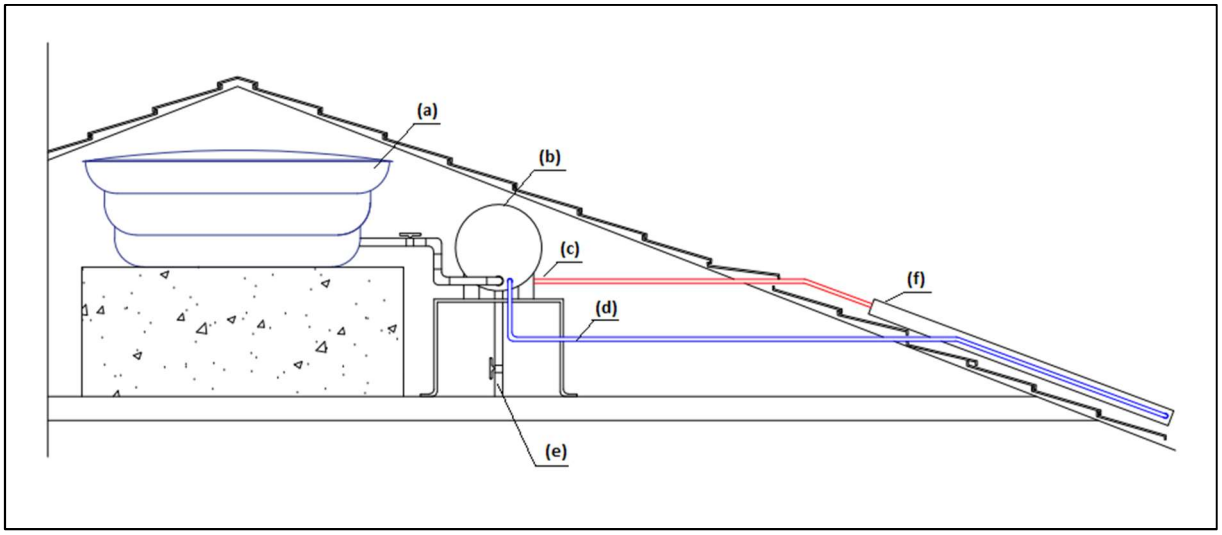


Fonte: Própria.

Além disso, na Figura 5 pode-se observar que há duas cores de tubulações saindo do boiler, no qual a vermelha (d) representa a entrada da água quente vinda dos coletores solares, e a tubulação em azul (e) a saída de água fria do fundo do boiler para os coletores solares (c). Observa-se que toda a água da caixa de água, primeiro é direcionada direto para o boiler, ao qual fará o controle de temperatura e então, liberará para o uso na residência.

Na Figura 6 observa-se uma vista lateral da ligação do sistema, no qual há alguns pontos que são importantes salientar.

Figura 6: Vista Lateral do esquema de montagem do sistema.



Fonte: Própria.

As tubulações de entrada (c) e saída (d) do boiler e de distribuição (e) da casa então na parte inferior do reservatório (b), de modo que, espera-se que com a água armazenada também ocorra o processo de convecção, onde a água quente se deslocaria para a parte superior do reservatório e a água mais fria (que seria deslocada para o aquecimento no coletor solar (f)) na parte inferior. Além disso, o motivo pelo qual a tubulação de distribuição também estar na parte inferior do reservatório é para que seja utilizada toda a água armazenada em caso de uma falta de água, e não apenas até determinado limite de altura.

Pelo fato do sistema de aquecimento solar ser instalado na mesma altura que a caixa de água (a), não há interferência na pressão da água no encanamento.

Sendo assim, através da estrutura de montagem do sistema de aquecimento de água demonstrada neste capítulo, pode-se observar no Capítulo 5 como ocorre o controle de temperatura da água no reservatório, para que a água que circula pelas tubulações da residência esteja conforme o limite estipulado no Capítulo 2.

5 SISTEMA SUPERVISÓRIO DE CONTROLE DE TEMPERATURA

Tendo em vista que todas as premissas e conceitos essenciais para a construção do sistema de aquecimento de água foram apresentados nos capítulos anteriores, o objetivo deste capítulo é apresentar o desenvolvimento do controlador de temperatura. Para isso, utiliza-se o software Elipse SCADA para monitoramento e controle de interface do sistema, ao qual é interligado ao Arduino, que é a plataforma dos sensores e motores do sistema.

Sendo assim, nesse capítulo é apresentado os softwares utilizados para realizar o sistema supervisório, os componentes necessários para o controle de temperatura e também um esquemático da disposição dos componentes, no interior do reservatório térmico, que realiza o controle de temperatura.

5.1 Elipse e Arduino

O Elipse possui uma plataforma SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados) que é ideal para controles remotos de sistemas de automação, pois possui um alto nível de monitoramento e controle de processos, independentemente do grau de dificuldade do sistema (ELIPSE SOFTWARES, 2015).

A versão utilizada do Elipse SCADA é a educacional, que é exclusiva para alunos de instituições de ensino e permite simular projetos de supervisão e controle, contando com editor de tela para facilitar a interface com o usuário, fácil gerenciamento da aplicação, grande flexibilidade na gestão de eventos e alta performance na programação de scripts lógicos (ELIPSE SOFTWARES, 2015).

Desse modo, através da utilização do Elipse é possível criar uma interface entre o usuário e o sistema de controle, de modo a facilitar a utilização e torná-la mais amigável.

Para realizar o controle dos componentes do sistema é utilizado o Arduino, que é uma plataforma que permite controlar diversos tipos de dispositivos envolvendo motores, sensores, circuitos integrados, entre outros (ARDUINO, n.d.). A escolha do Arduino é devido a sua praticidade e eficiência de uso, e também possibilita programação em linguagem C/C++ do funcionamento do sistema de controle de temperatura proposto.

Sendo assim, o sistema supervisório Elipse e o microcontrolador Arduino trabalham em conjunto para garantir que o controle de temperatura seja eficiente, controlável e possua uma interface de utilização com o usuário, ao qual poderá observar o funcionamento do sistema em tempo real.

Para realizar a montagem do protótipo utilizou-se o Arduino UNO que é um modelo muito vendido e popular, pelo fato de ser de custo acessível e apresentar excelente funcionalidade (BUKMAN, 2016). Possui 6 entradas/saídas analógicas e 14 entradas/saídas digitais, de modo que, essa quantidade foi suficiente para suprir a necessidade do protótipo.

Na comunicação do Elipse SCADA com o Arduino UNO utilizou-se a biblioteca SimpleModbusSlave[11], que realiza a comunicação de dados através do protocolo Modbus (MADEIRA, 2016).

O driver de comunicação utilizado foi o *Driver Modicon Modbus Master (ASC/RTU/TCP)* que pode ser encontrado para *download* no próprio site da Elipse[12] e deve ser instalado no diretório do Elipse SCADA (MADEIRA, 2016). Sendo assim, com o driver e biblioteca de comunicação devidamente instalados e declarados, pode-se criar os registradores (variáveis de comunicação do microcontrolador com o supervisório).

Como registradores foram utilizadas nove Tags PLC, que são classificadas como variáveis conectadas em um equipamento externo. No Arduino esses registradores devem estar num bloco chamado *enum*, de modo que é declarado os nomes dos registradores que foram configurados no Elipse (MADEIRA, 2016).

Após isso, antes que iniciar os comandos lógicos, a última configuração necessária é no Arduino, no qual deve-se chamar a função *modbus_configure* e colocar como entrada os parâmetros de comunicação, como a taxa de transmissão de dados, formato do pacote de dados e identificação do escravo (MADEIRA, 2016).

Com isso, pode-se realizar a comunicação entre os sensores conectados ao Arduino com a interface gráfica do Elipse, de modo que, o controle de acionamento e acompanhamento do sistema é realizado pelo supervisório. Sendo assim, a leitura e interpretação dos dados dos sensores é realizada pelo microcontrolador. Pode-se observar o código de controle no Anexo A.

---

[11] Disponível em: https://pt.freedownloadmanager.org/Windows-PC/Modbus-Slave.html
Acesso em: 10 de maio de 2019.
[12] Disponível em: https://www.elipse.com.br/downloads/
Acesso em: 10 de maio de 2019.

5.2 Instalação dos Componentes do Sistema

Para o controle de temperatura da água no interior do reservatório térmico são utilizados os seguintes componentes:

- Válvula Vazão Solenoide[13]: Utilizada para a liberação e/ou bloqueio de água da caixa de água para o reservatório e do reservatório para o coletor. A alimentação é feita em 127 V, portanto, é necessário um relé de acionamento ligado na saída digital do arduino para que ele realize o acionamento da válvula. Observa-se na Figura 7 a válvula de vazão solenoide.

Figura 7: Válvula solenoide

Fonte: (Bau da Eletrônica[13], 2018)

- Sensor de Nível da água[14]: Esse sensor é composto por uma boia que indica o nível de água do reservatório. Possui entrada de dados digital, no qual o nível alto e baixo indicam que o sensor está acionado e

[13] Disponível em: http://www.baudaeletronica.com.br/valvula-solenoide-para-agua-127v-180-x-va-04.html
Acesso em: 10 de maio de 2019.
[14] Disponível em: https://www.eletrogate.com/sensor-de-nivel-de-agua-90
Acesso em: 10 de maio de 2019.

desacionado, respectivamente. Na Figura 8 observa-se o sensor de nível de água.

Figura 8: Sensor de nível de água

Fonte: (Eletrogate[13], 2018)

- Sensor de Temperatura[15]: Foi utilizado o sensor de temperatura do modelo DS18B20, o qual possui uma eletrônica capaz de ler e interpretar a temperatura em graus Celsius através de dados digitais. Na Figura 9 pode-se observar o sensor de temperatura utilizado.

Figura 9: Sensor de Temperatura

Fonte: (MADEIRA[15], 2018)

[15] Disponível em: https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/ Acesso em: 10 de maio de 2019.

- Motor de Corrente Contínua[16]: Utilizou-se o motor de passo com modelo 28BYJ-48 com o driver ULN2003 com alimentação de 5 V e com um torque de 34,3 mN.m, suficiente para realizar a agitação da água dentro do reservatório. Na Figura 10 pode-se observar o motor de passo com o driver utilizado.

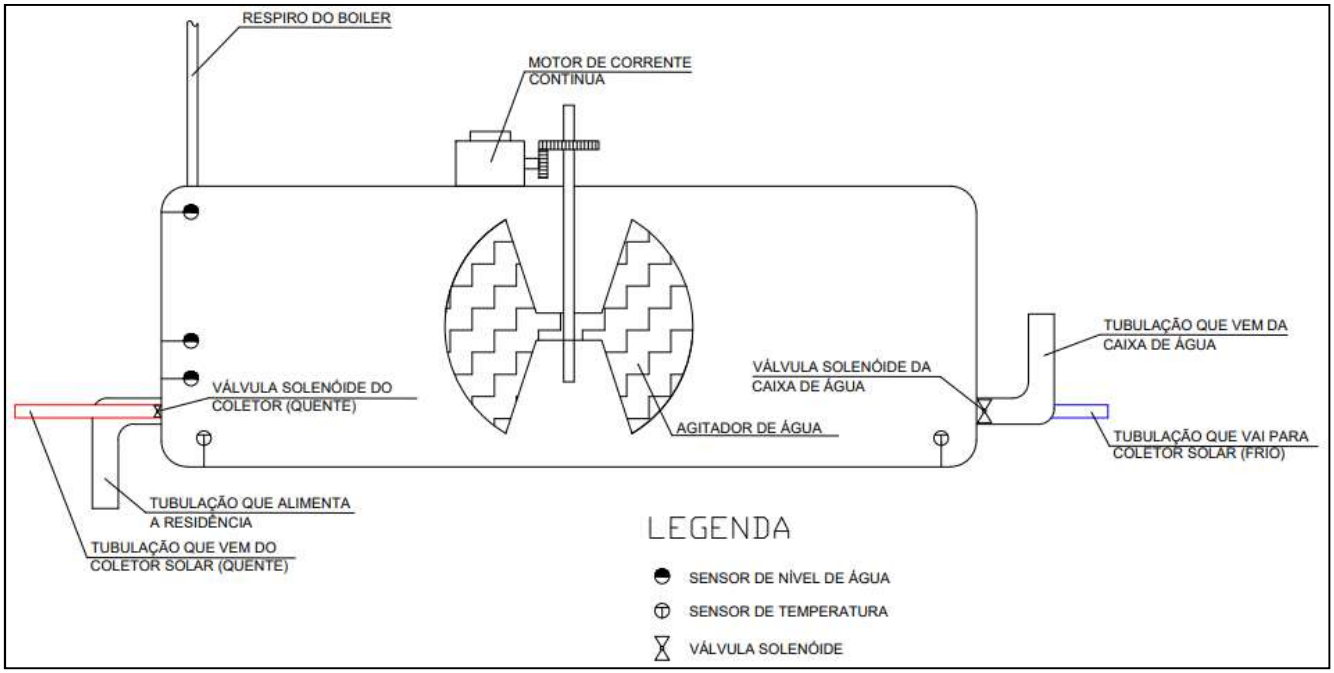
Figura 10: Motor 28BYJ-48 com driver ULN2003

Fonte: (FILIPEFLOP[16], n.d.)

Para explicar a utilização de cada componente no sistema de controle de temperatura, deve-se primeiramente observar a Figura 11, na qual apresenta-se a disposição dos componentes no interior do reservatório ao qual é realizado o controle de temperatura.

[16] Disponível em: https://www.filipeflop.com/produto/motor-de-passo-driver-uln2003-arduino/ Acesso em: 10 de maio de 2019.

Figura 11: Esquema de controle de temperatura no reservatório térmico.



Fonte: Própria.

Na Figura 11 pode-se observar o esquemático de funcionamento do controle de temperatura, realizado no interior do reservatório térmico. Nessa vista lateral do boiler, nota-se na tubulação em vermelho a entrada da água quente que vem do coletor solar, no qual, há uma válvula de vazão solenoide para controlar a entrada de água quente no sistema.

Há outra válvula de vazão solenoide na entrada de água fria vinda da caixa de água, ao qual irá controlar, além da entrada de água no sistema, a diminuição da temperatura da água, caso a temperatura interna do boiler atinja uma temperatura superior a 38 °C, devido ao aquecimento dos coletores solares. O motor de corrente contínua foi utilizado para realizar a agitação da água, o qual, através de engrenagens, movimenta uma pá que fica no centro do reservatório térmico. Além disso, na tubulação em azul, pode-se observar a saída da água fria que irá para receber o aquecimento no coletor solar.

Para monitorar a temperatura da água, há dois sensores de temperatura (observar legenda da Figura 11) dispostos na parte inferior do boiler. Para monitorar os níveis de água, há três sensores de nível de água (observar legenda da Figura 11) dispostos no lado esquerdo. De modo que, o sensor mais próximo do respiro do boiler é o sensor de nível máximo de água, o sensor do meio é o sensor de nível médio de água e o último sensor é o de nível mínimo de água.

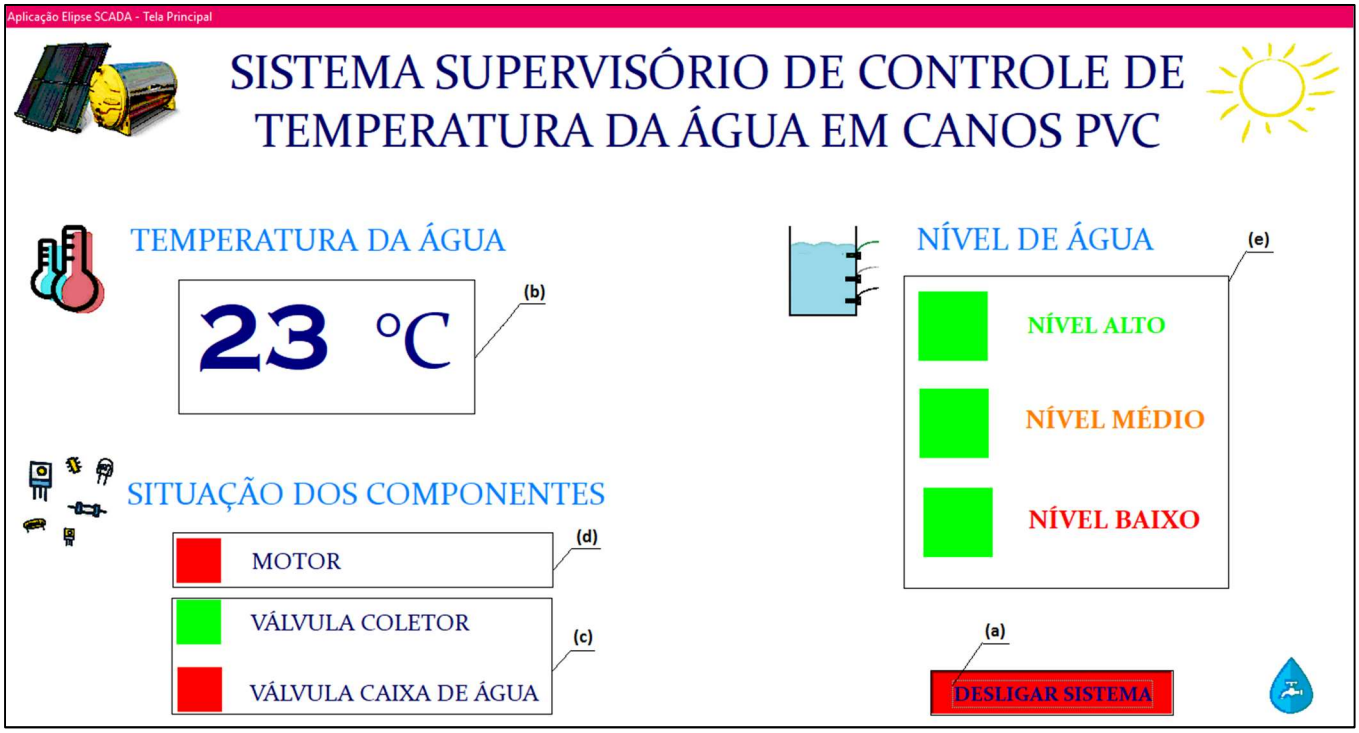
Esse é o princípio de funcionamento que o sistema trabalha, no qual a programação foi realizada na linguagem C, a interface com o usuário projetada pelo Elipse SCADA e o Arduino UNO.

5.3 Funcionamento do Sistema

A interface do sistema supervisório pode ser visualizada na Figura 12, no qual, o usuário tem acesso as seguintes informações:

- Botão de Ligar/Desligar sistema (a): Quando o sistema está desligado, a válvula do coletor solar é desativada e o boiler só recebe água da caixa de água. E, quando o sistema está ligado, o supervisório permite o controle da água aquecida pelo coletor solar.
- Temperatura da água dentro do boiler (b): O usuário pode visualizar qual a temperatura atual da água no sistema.
- Situação das válvulas da caixa da água e do coletor (c): Objeto para controle visual do usuário, para observar se os acionamentos das válvulas estão corretos conforme a temperatura atual da água.
- Situação do motor que equaliza a água (d): Informar o usuário de que o sistema está equalizando a temperatura da água.
- Situação do nível de água dentro do boiler (e): Objeto para controle visual do usuário, para se observar a atuação das válvulas conforme varia o nível de água.

Figura 12: Sistema supervisório.



Fonte: Própria.

Conforme mostrado o funcionamento dos componentes no capítulo 5.2, pode-se então explicar o funcionamento geral do controle de temperatura, e como os componentes trabalham em conjunto. Para melhor compreender o funcionamento do controle de temperatura observa-se o Quadro 3, que mostra o comportamento dos componentes de saída conforme os dados de entrada, ou seja, os cenários possíveis do sistema. O preenchimento em verde significa que componente está acionado e os em vermelho que está desacionado.

Quadro 3: Análise de entrada e saída de dados do controlador.

Índice	Entrada de Dados				Saída de Dados	
	Sensor de Nível Alto	Sensor de Nível Médio	Sensor de Nível Baixo	Temperatura média dos dois sensores	Válvula Coletor Solar	Válvula da Caixa de água
1				>38 °C		
2				<=38 °C		
3				>38 °C		
4				<=38 °C		
5				>38 °C		
6				<=38 °C		
7				>38 °C		
8				<=38 °C		

Fonte: Própria.

Por exemplo, no índice 1 e 2 do Quadro 3 todos os sensores de nível não estão acionados, o que indica que o reservatório está vazio, desse modo se a temperatura da água no boiler for maior que 38 °C (índice 1), a válvula da caixa de água é ligada e a válvula do coletor solar é fechada, para entrar apenas água em temperatura ambiente no reservatório. Mas, se a temperatura for menor ou igual que 38 °C (índice 2), além da liberação de água da caixa de água para abastecer o boiler, também é acionada a válvula do coletor solar, permitindo que a água seja aquecida.

Seguindo essa mesma linha de raciocínio, utilizando dados de nível e temperatura da água, tem-se todas as possibilidades de cenários das válvulas solenoides, para que possa manter a água no reservatório dentro do limite de temperatura estipulado no protótipo que é de 38°C, assim como garantir um abastecimento de água contínuo para a residência.

Além disso, pode-se observar no Quadro 3 que quando a temperatura é maior que 38 °C, a válvula solenoide de vazão de água vinda do coletor é desligada, para garantir que a água no reservatório se mantenha estabilizada e não aumente de valor. Sendo que, a água da caixa de água também é utilizada para realizar essa estabilização de temperatura e o motor realiza a agitação da água toda vez que houver uma diferença de 5 °C entre a temperatura da água que acessa o reservatório e a água que estava ali armazenada.

De modo geral e simplificado, o sistema busca controlar a temperatura no interior do boiler para aproximadamente 38 °C, utilizando a água aquecida do coletor e a água em temperatura ambiente da caixa de água da residência.

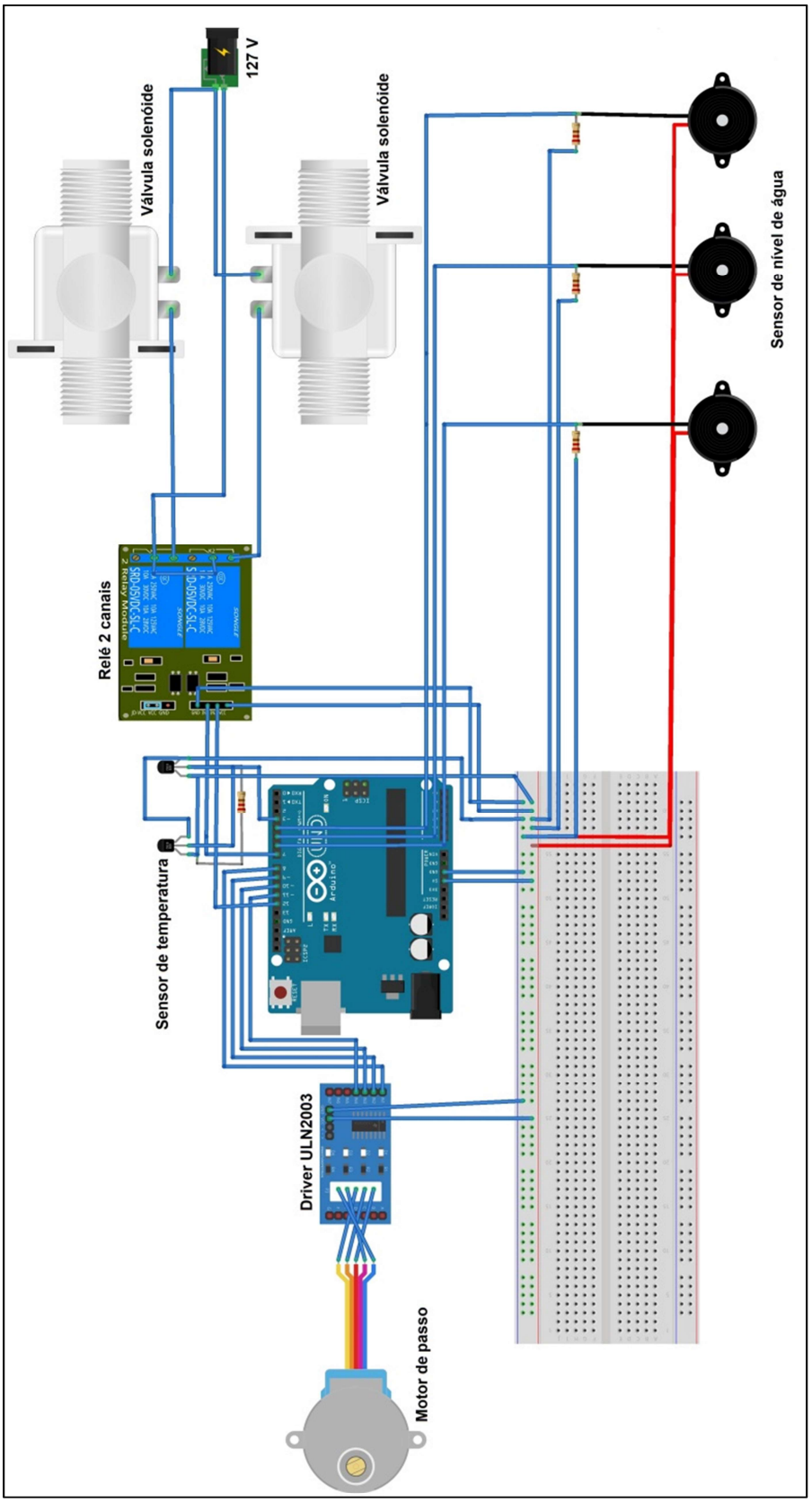
Para isso, o sistema foi desenvolvido em linguagem C no Arduino UNO, no qual o código encontra-se no Anexo A desse trabalho. Sendo que o código é coerente com o funcionamento descrito no Quadro 3.

O circuito eletrônico com todos os sensores e válvulas pode ser observado na Figura 13. No qual, há o microcontrolador e suas ligações com os sensores. Os sensores de temperatura estão conectados em um mesmo barramento que é ligado na porta digital 3, sendo que os dois sensores estão dispostos em locais opostos no reservatório térmico, conforme a Figura 11, e no sistema supervisório é indicada a média de temperatura desses dois sensores.

As válvulas solenoides indicadas são acionadas por meio de um relé de 2 canais, de modo que ele liga ou desliga o circuito de alimentação das válvulas conforme a lógica de programação. Os canais do relé são ligados nas portas digitais 12 e 7 do Arduino UNO.

Além disso, os sensores de nível indicados estão conectados nas portas digitais 4, 5 e 6 e o motor de passo nas portas 8, 9, 10 e 11. Essas ligações dos sensores com o microcontrolador, podem ser observadas na Figura 13.

Figura 13: Circuito eletrônico utilizado para controle de temperatura.



Fonte: Própria.

6 PROTÓTIPO PARA ESTUDO

Para que fosse realizado o estudo de viabilidade de implementação do sistema de controle de temperatura, foi necessário adequar os componentes para materiais vantajosos em relação ao custo e eficiência. Sendo assim, foi realizada a montagem do coletor solar e do reservatório térmico em tamanho reduzido para fins acadêmicos, o qual tem como objetivo demonstrar o funcionamento do sistema supervisório.

Desse modo, na seção 6.1 é relatada como ocorreu a montagem de cada um desses componentes, assim como o protótipo da placa de controle de temperatura. Vale ressaltar que o coletor solar e o reservatório térmico construídos tem como objetivo apenas demonstrar a usabilidade do controle de temperatura, sendo que para uma aplicação real recomenda-se a compra desses componentes com fornecedores autorizados.

6.1 Montagem do coletor solar, reservatório térmico e placa de controle

A montagem do coletor solar foi realizada segundo os princípios da Sociedade do Sol (2009) para Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC). O principal motivo para utilizar um ASBC foi pelo fato do valor ser reduzido e a montagem ser possibilitada através de materiais que podem ser encontrados em lojas comuns. Esse sistema tem o mesmo princípio de funcionamento que o sistema tradicional de aquecimento solar de água (coletores solares), sendo que a diferença está no tipo de material e na possibilidade de uma pessoa comum poder construí-lo (SOCIEDADE DO SOL, 2009).

Além disso, os coletores do ASBC não possuem cobertura de vidro, que proporcionam um aquecimento adicional na água. Sendo assim, a ausência da cobertura de vidro não permite que a água chegue a temperaturas extremas, tal que possa trazer riscos para a integridade do material utilizado para construir o aquecedor (SOCIEDADE DO SOL, 2009).

Seguindo o princípio dos cálculos realizados no Capítulo 3, recalcula-se a área mínima necessária de coletores solares para suprir o reservatório do protótipo,

que é de 44 litros. Sendo assim, conforme equação (8), a quantidade de calor necessária para elevar em 40 °C a água dos coletores é:

$$\mathbf{Q = 44 * 1 * 40 = 1760\ kcal}$$

E, para o cálculo da área de coletores necessária utiliza-se a equação (7), no qual tem-se que I é a irradiação solar com valor médio de 4680 kcal/m² e 0,5 é o rendimento de aproveitamento do aquecedor solar. Ambos os fatores foram explicados com mais detalhes no capítulo 3.

Com isso, a área mínima de coletores necessária para aquecer 44 litros de água é:

$$\mathbf{S = \frac{1760}{4680 * 0,5} = 0,75\ m^2}$$

Desse modo, foi realizada a montagem de uma placa com uma área de 0,75 m², no qual possui 1,25 m de altura e 0,60 m de comprimento. Sendo que para construir o aquecedor solar utilizou-se os seguintes materiais, conforme o Quadro 4:

Quadro 4: Componentes para construir o coletor solar.

Identificação	Material	Quantidade	Finalidade
A	Placa de forro de PVC alveolar modular	1 peça	Auxiliar no processo de convecção da água.
B	Joelhos 90° de PVC	2 peças	Alinhar a entrada e saída de água.
C	Tubos de PVC marrom 32 mm de diâmetro	1 peça	Conexão das placas de forro.
D	Esmalte sintético preto fosco	1 lata	Proporcionar maior absorção de calor do coletor solar.
E	Cap 32 mm	2 peças	Evitar derramamento de água.
F	Mangueira de 25 mm de diâmetro	4 metros	Transferência da água do coletor para o reservatório térmico.
G	Redutor de 32 mm para 25 mm	2 peças	Realizar a redução do diâmetro do cano de PVC para o tamanho da mangueira conectada.
H	Adesivo plástico para PVC	1 tubo	Fazer a fixação das partes do coletor solar

Fonte: Própria.

Desse modo, os passos simplificados para a montagem do coletor solar foram:

- Recortar a placa do forro de PVC em 3 partes de 125 cm de altura e 22 cm de largura.
- Encaixar e colar as 3 partes do forro de PVC.
- Cortar o cano de PVC em duas partes de 70 cm de comprimento.
- Realizar um corte horizontal por toda a superfície do tubo de PVC para encaixar as placas do forro.
- Fazer a conexão dos caps, joelhos e redutores conforme a Figura 10.

- Pintar toda a superfície do coletor solar.

Na Figura 14 pode-se observar a placa de coletor solar com área de 0,75 m² juntamente com a demonstração dos componentes utilizados para a sua montagem. No qual, as letras indicadas na figura são para identificações declaradas no Quadro 4.

Figura 14: Protótipo do coletor solar.

Fonte: Própria.

Com o coletor solar montado, fez-se necessário construir um reservatório térmico para armazenar a água aquecida. Desse modo, utilizou-se uma caixa de

isopor de 44 litros, na qual, foram realizadas perfurações para alocar os componentes descritos na Figura 11.

Na Figura 15 pode-se observar o protótipo do reservatório térmico.

Figura 15: Protótipo do reservatório térmico.

Fonte: Própria.

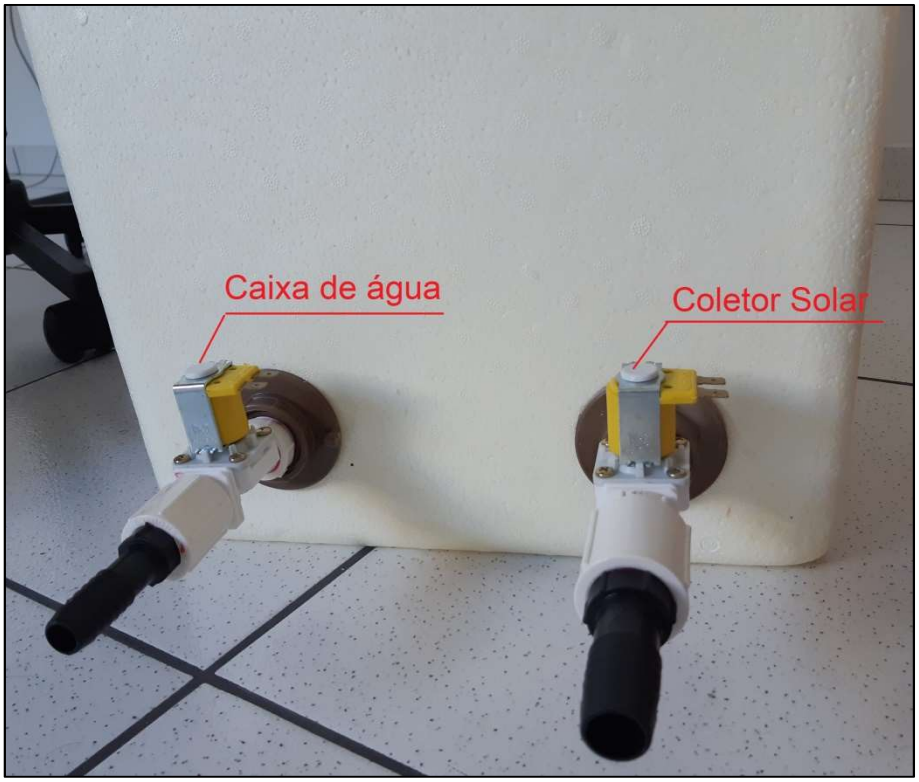
Conforme observa-se na Figura 15, utilizou-se a tampa do reservatório para acoplar o motor que realiza a agitação da água. Desse modo, na Figura 16 pode-se observar a pá montada e acoplada no eixo do motor.

Figura 16: Pá acoplada ao eixo do motor.

Fonte: Própria.

Além disso, nas Figuras 15 e 16, pode-se observar que nos lados direito e esquerdo do reservatório tem as entradas e saídas destinadas para o fluxo da água, de modo que, na Figura 17 pode-se observar as duas válvulas de controle de temperatura da água. Uma é a válvula que permite a entrada da água do coletor solar para aquecer a água do sistema e a outra é a válvula conectada na caixa de água da casa, que no caso do protótipo, será ligada apenas a uma torneira de entrada comum de água.

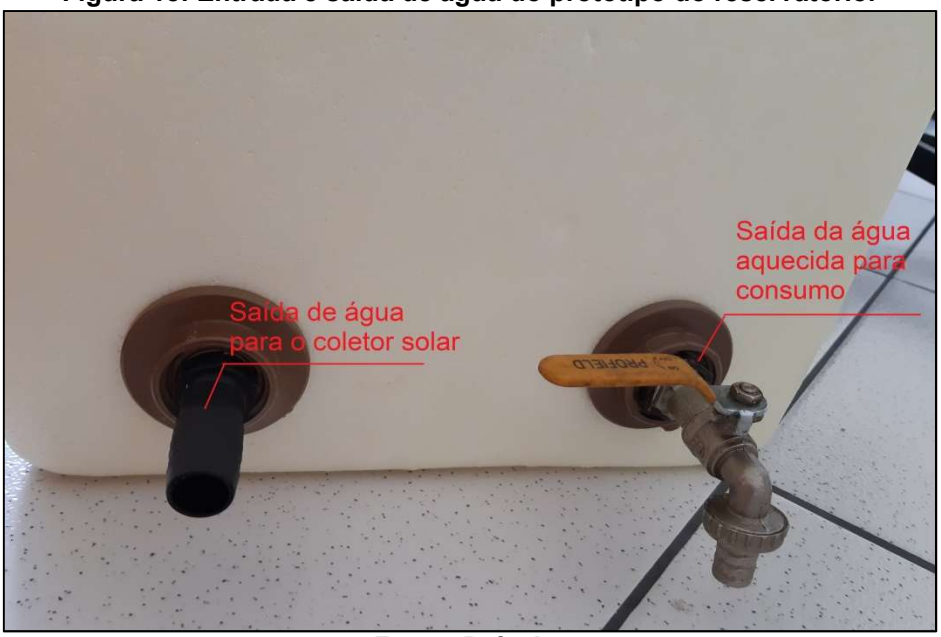
Figura 17: Válvulas do protótipo de reservatório.



Fonte: Própria.

Do outro lado da caixa, conforme observa-se na Figura 18, tem a saída da água para o coletor solar e a saída da água para o consumo, que no caso do protótipo é uma torneira.

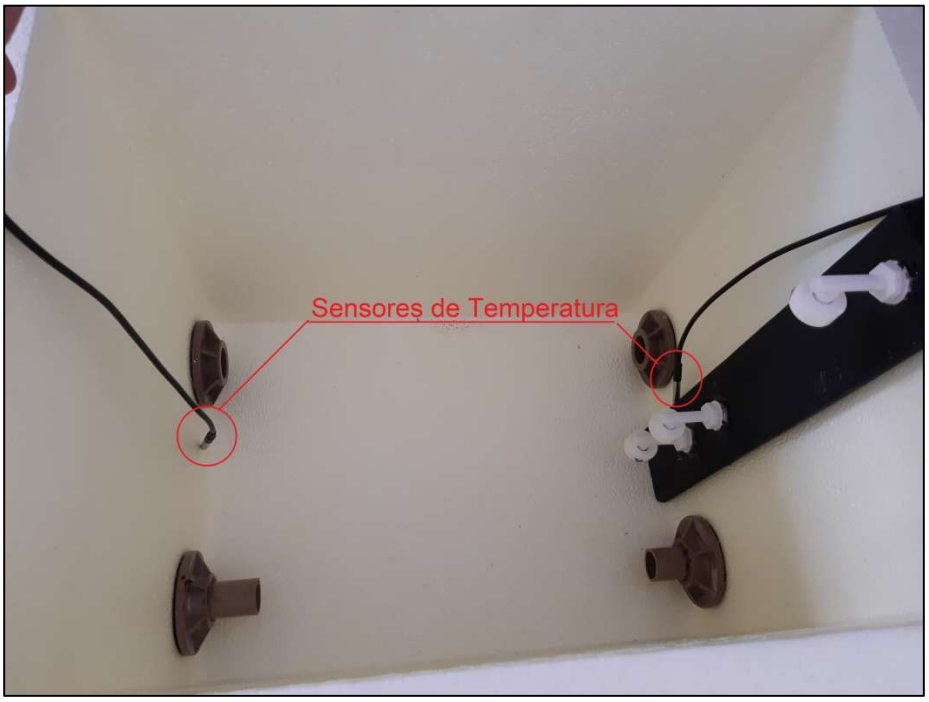
Figura 18: Entrada e saída de água do protótipo do reservatório.



Fonte: Própria.

No interior do reservatório térmico estão dispostos os sensores de nível de água e de temperatura. Na Figura 19 observa-se os sensores de temperatura no interior do reservatório, no qual, cada um situa-se em uma extremidade e a temperatura que pode ser visualizada no sistema supervisório é a média dos dois sensores. Porém, vale lembrar que quando a diferença de temperatura entre os dois sensores é de 5 °C o motor é ativado para agitar a água e ajudar na equalização.

Figura 19: Sensores de temperatura do protótipo do reservatório.



Fonte: Própria.

Os sensores de nível de água foram dispostos da maneira apresentada na Figura 20. Sendo que, os sensores de nível baixo e médio estão próximos um do outro para que, quando o sensor de nível baixo for ativado, a água da caixa é liberada para encher o reservatório de modo que não fique totalmente preenchido de água fria, onde a água que vem direto da caixa de água enche apenas até o sensor de nível médio mantendo a água parcialmente aquecida.

Figura 20: Disposição dos sensores de nível de água do protótipo.

Fonte: Própria.

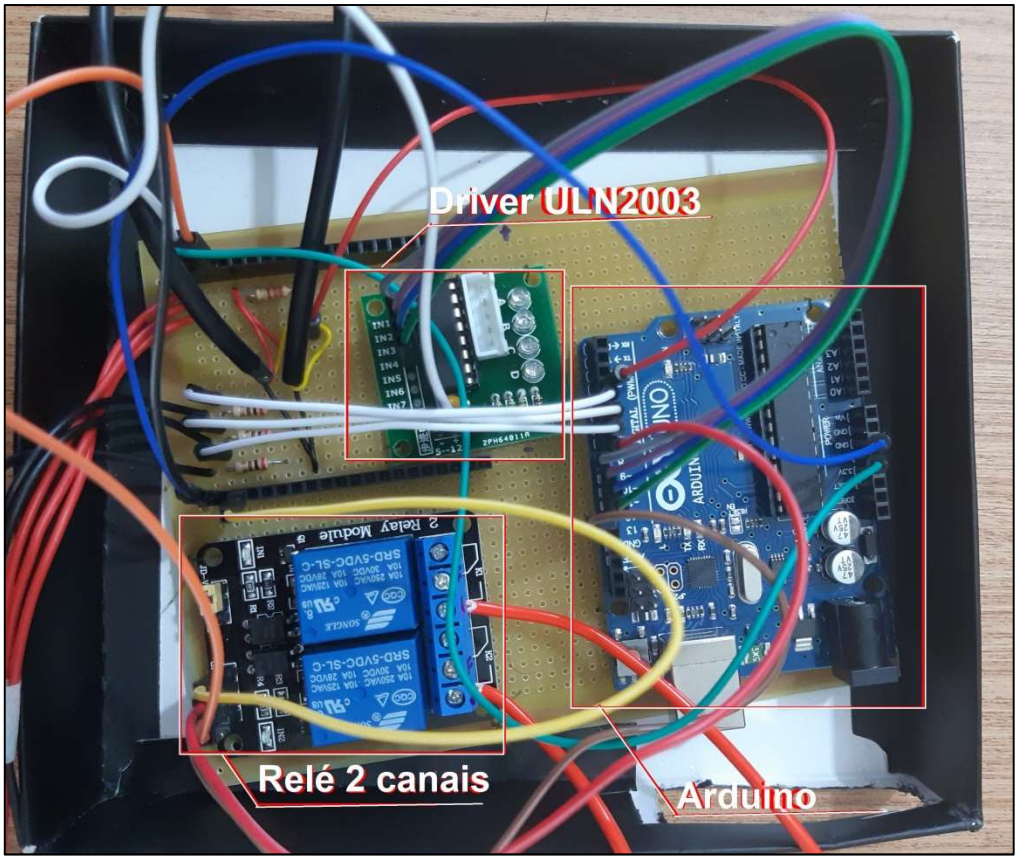
Tendo ajustado todos os componentes no reservatório, montou-se a placa eletrônica do sistema. Para realizar o controle do sistema supervisório utilizou-se os

seguintes componentes, além daqueles indicados na Figura 11 e descritos no capítulo 5.2:

- Arduino UNO: Responsável pela leitura dos sensores de temperatura e dos sensores de nível de água, e envio de sinais digitais para as válvulas e o motor.
- Driver ULN2003: Realizar o controle do motor de passo.
- Relé com 2 canais: Relés de acionamento das válvulas que são alimentadas com 127 V.

Os componentes foram soldados em uma placa de fenolite, conforme pode-se observar na Figura 21.

Figura 21: Placa de controle do sistema.



Fonte: Própria.

Com isso, tem-se a base do protótipo do sistema de estudo. No qual, utilizou-se de recursos com custo reduzido daqueles recomendados para a aplicação de um sistema real. Através do protótipo construído espera-se obter resultados do

funcionamento de controle de temperatura da água, se este mostra-se eficiente mesmo para um sistema reduzido. Esse estudo é apresentado no capítulo 7.

7 RESULTADOS OBTIDOS

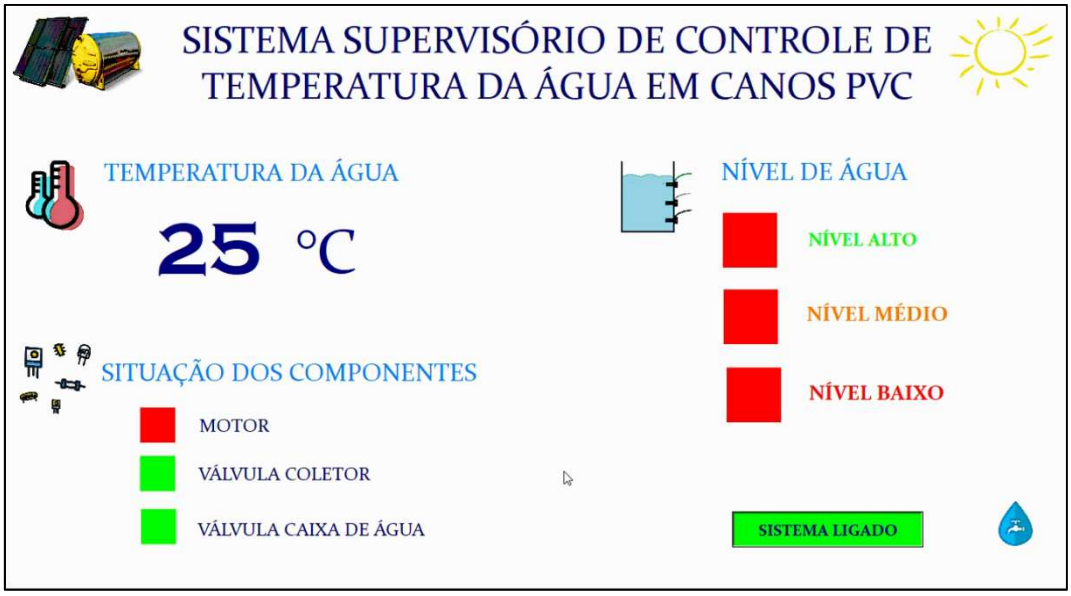
O sistema completo com a montagem do coletor solar e suas conexões, o reservatório térmico e a placa de controle podem ser visualizados na Figura 22:

Figura 22: Protótipo do sistema de aquecimento instalado.

Fonte: Própria

Para realizar o teste, primeiramente ligou-se o sistema supervisório no botão de “Sistema Ligado/Sistema Desligado”, no qual, as informações apresentadas podem ser visualizadas na Figura 23:

Figura 23: Teste do Sistema Supervisório 1.

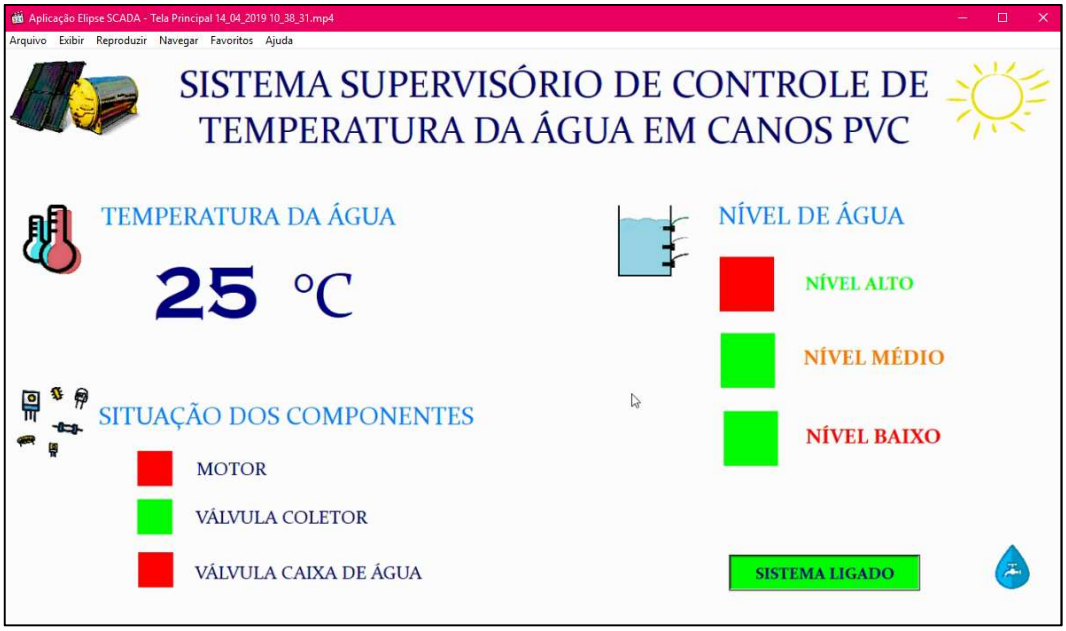


Fonte: Própria

Essas informações mostram que, como o reservatório está vazio, a válvula que possibilita a entrada de água da caixa está ativada, permitindo o enchimento do reservatório até o nível médio, de modo que, como a temperatura do interior da caixa de água é menor que 38 °C, a válvula do coletor solar também está aberta para começar o aquecimento da água.

Quando a água acessou o nível médio, a válvula da caixa de água fechou e então permaneceu apenas a válvula do coletor solar aberta, para realizar o aquecimento da água até 38 °C, conforme observa-se na Figura 24.

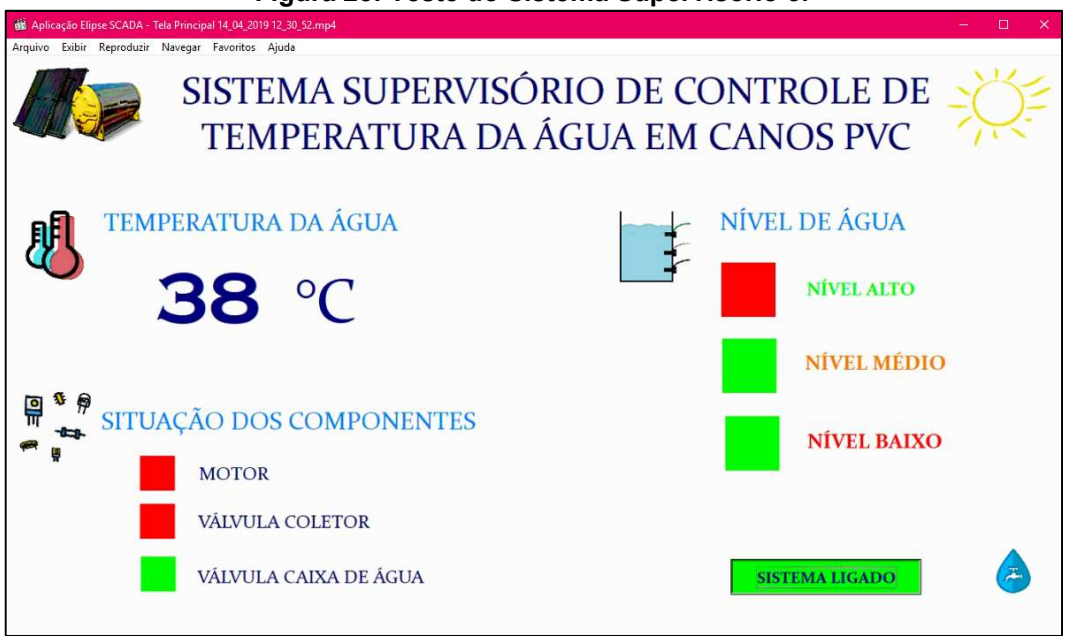
Figura 24: Teste do Sistema Supervisório 2.



Fonte: Própria

No decorrer de aproximadamente 2 horas, o coletor solar aqueceu toda a água em nível médio do reservatório para 38 °C, e quando chegou nessa temperatura a válvula do coletor solar foi desligada e a válvula da caixa de água ligou até a temperatura diminuir, para não permitir que uma temperatura superior a 38 °C fosse disponibilizada pela torneira do protótipo. Esse ocorrido pode ser visualizado na Figura 25.

Figura 25: Teste do Sistema Supervisório 3.



Fonte: Própria

Portanto, pode-se visualizar que o sistema supervisório mostrou a atuação do Arduino no controle de temperatura de modo satisfatório, não permitindo que a água eleva-se a temperatura de 38 °C, que foi o valor de operação do sistema escolhido no capítulo 2. Além disso, pode-se observar que o protótipo do coletor solar atuou conforme o esperado, proporcionando através do sol, aquecimento suficiente para verificar o funcionamento do sistema.

8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Um dos objetivos do sistema supervisório proposto é garantir conforto para o usuário, de modo que, não seja necessário o transtorno de uma reforma na casa para a troca do encanamento em PVC para o encanamento em cobre, que é geralmente utilizado para sistemas de água aquecida. Além de que, consequentemente, haveria uma economia no consumo de energia elétrica do chuveiro, que é o maior elevador de custo das contas de energia elétrica, conforme demonstrado no capítulo 2.2.

Conforme os cálculos apresentados no capítulo 3, para dimensionamento dos coletores solares e reservatório térmico, para uma casa com quatro pessoas, utilizou-se esses mesmos parâmetros para o estudo de viabilidade econômica nesse capítulo.

Sendo assim, para analisar a viabilidade econômica do sistema realizou-se uma pesquisa de mercado do valor médio dos componentes que consistem o sistema de aquecimento. De modo que, pode-se observar no Quadro 5 os valores, componentes e serviços para a montagem do sistema de aquecimento para uma casa com quatro pessoas:

Quadro 5: Custo para a montagem de um sistema de aquecimento solar.

Componente/Serviço	Valor Aproximado	Fornecedor	Observação
Coletor Solar	R$ 2800,00	MadeiraMadeira[17]	Custo total para três coletores de 2 m² e um coletor de 1 m².
Reservatório térmico	R$ 3000,00	Magno Distribuidora[18]	Capacidade de 400 litros de água.
Adequação do reservatório térmico	R$ 2500,00	Someh[19]	A empresa citada realiza a adequação do reservatório com os sensores, válvulas e outras entradas/saídas conforme a Figura 7.
Conexões entre coletor e reservatório	R$ 100,00	Balaroti[20]	Conexões necessárias para a ligação dos componentes que compõem o sistema de aquecimento.
Componentes eletrônicos do sistema supervisório de controle de temperatura	R$ 600,00	FilipeFlop[21]	Valor avaliado conforme os componentes comprados para a montagem do protótipo da placa de controle de temperatura.
TOTAL	R$ 9000,00	-	-

Fonte: Própria

Sendo assim, o total aproximado para a instalação do sistema de aquecimento e controle proposto é de R$ 9000,00, sem considerar a mão de obra do

[17] Disponível em: https://www.madeiramadeira.com.br Acesso em: 13 de abril de 2019.
[18] Disponível em: https://www.magnodistribuidora.com.br/ Acesso em: 13 de abril de 2019.
[19] Disponível em: https://someh.com.br/ Acesso em: 13 de abril de 2019.
[20] Disponível em: https://www.balaroti.com.br/ Acesso em: 13 de abril de 2019.
[21] Disponível em: https://www.filipeflop.com/ Acesso em: 13 de abril de 2019.

instalador, assim como do responsável por fazer a placa eletrônica e configurá-la. Lembrando que, esse valor não seria elevado, pelo fato da instalação do sistema ser direta, sem a necessidade de modificações estruturais na residência. Assim como a montagem da placa eletrônica, pois toda a disposição dos componentes e programação são fixas para qualquer aplicação do protótipo proposto.

Desse modo, para calcular a viabilidade econômica foi realizada uma comparação de valores com a montagem de um sistema completo de aquecimento a gás.

Considerando a residência de estudo dos capítulos 3 e 4, a metragem da casa é de aproximadamente 90 m², no qual residem quatro pessoas (quantidade base utilizada para o cálculo do sistema de aquecimento solar proposto no trabalho). Sendo assim, no Quadro 6 pode-se observar os componentes e serviços que seriam utilizados para reformar essa residência e habilitá-la para receber aquecimento a gás da água.

Quadro 6: Custo para a montagem de um sistema de aquecimento a gás.

Componente/Serviço	Valor Aproximado	Observação
Mão de obra do encanador com material (encanamento cobre) incluso.	R$ 27.990,00	Valor de R$ 311,00 por m², foi utilizado como base 90 m².
Acabamento pós instalações de infra-estrutura.	R$ 2340,00	Valor de R$ 26,00 por m², foi utilizado como base 90 m².
Sistema de Aquecimento a gás.	R$ 2000,00	Valor para um sistema de aquecimento a gás para uma residência de 90 m².
Troca de chuveiros e torneiras destinadas para aquecimento a gás.	R$ 200,00	Valor de R$ 40,00 por peça, considerou-se 2 chuveiros e 3 torneiras, sem incluir as peças novas.
TOTAL	R$ 32.530,00	-

Fonte: Própria

Todos os valores aproximados do Quadro 6 foram retirados do site Habitissimo[22], que é responsável por disponibilizar orçamentos de diversos tipos de produtos e profissionais. Desse modo, pode-se observar que, para uma residência já construída, o valor para instalar o sistema de aquecimento a gás seria de aproximadamente R$ 32.530,00 e para instalar o sistema de aquecimento solar proposto seria de R$ 9.000,00.

As principais diferenças entre os sistemas seriam:

- Temperatura de aquecimento da água do sistema a gás é maior que no protótipo proposto, além de garantir que independente do clima haveria água aquecida na residência.
- Instalação do protótipo não envolveria nenhum tipo de mudança estrutural da casa, evitando transtornos. Porém, na instalação a gás seria necessário modificar toda a estrutura PVC para cobre, por exemplo.
- O protótipo não necessita de gastos adicionais após a instalação, já na instalação a gás seria necessário manutenções anuais.
- É necessário utilizar o gás como propulsor de aquecimento, no protótipo utiliza-se a luz solar para este fim.

Desse modo, pode-se observar que o sistema de aquecimento proposto no trabalho é eficiente para residências que possuem encanamento em PVC e que não desejam modificar a estrutura da residência, assim como, não desejam precisar mais de gastos adicionais com combustíveis, como o gás que é não renovável. Sendo assim, com a instalação do protótipo seria possível ter água aquecida na residência, utilizando a luz solar como meio de aquecimento.

[22] Disponível em: https://www.habitissimo.com.br/ Acesso em: 29 de junho de 2019.

9 CONCLUSÃO

Conforme o avanço da tecnologia, os usuários passaram a aumentar os níveis de exigência de conforto e economia em seu dia a dia, principalmente em suas residências. Com isso, a água aquecida tem se tornado importante para trazer conforto não apenas durante o banho, mas durante outras atividades cotidianas, como por exemplo, lavar o rosto pela manhã. Pensando nisso, os moradores das residências têm instalado sistemas de aquecimento de água, porém, muitas vezes, o custo torna-se bastante elevado pelo fato do encanamento ter a necessidade de ser de cobre.

Com isso, o objetivo do trabalho era de mostrar a possibilidade de um sistema de aquecimento de água com o encanamento original da casa em PVC, ao qual abrange maior parte das residências brasileiras. Além de apresentar essa possibilidade, realizou-se o estudo de implementação de um sistema que controle a temperatura para níveis aceitáveis do PVC.

Assim, pôde-se concluir através das pesquisas bibliográficas apresentadas nesse trabalho que é possível uma instalação hidráulica de uma residência suportar uma temperatura de 38 °C de água, aquecida por coletores solares. No qual, no interior do reservatório térmico dessa água aquecida, pode ser realizado o controle de temperatura da água, ou seja, caso ela esteja com mais de 38 °C, a temperatura seja controlada para menor ou igual a esse valor.

Utilizou-se um protótipo reduzido do sistema para verificação do funcionamento do controle de temperatura quando em uma aplicação próxima da realidade. Através dos resultados obtidos no protótipo pôde-se concluir que o controle de temperatura realizado através da lógica microcontrolada cumpriu com o seu objetivo. Sendo assim, o protótipo construído foi suficiente para validar o funcionamento do sistema supervisório com seu controle de válvulas e sensores.

Sendo assim, o objetivo do trabalho era de buscar se haveria viabilidade de implementar o sistema de aquecimento, considerando o conforto gerado e a economia de energia, de modo que, através dos dados apresentados, ficaria ao critério de cada usuário analisar qual sistema seria o mais adequado para instalação, e se este possui grau de importância equivalente ao conforto que teria em instalar o sistema de aquecimento em sua residência. No qual, vale salientar que a utilização da energia solar como fonte de aquecimento da água, é coerente com as

novas medidas ambientais difundidas pela ONU, para emissão zero de poluentes e aproveitamento de fontes renováveis.

9.1 Sugestão para trabalhos futuros

Para melhoramento do sistema supervisório e seu controle, sugere-se para que nos próximos trabalhos seja realizada uma alternativa a utilização das válvulas solenoides de água, pois durante o experimento, estas apresentaram uma baixa vazão. Sendo que, com uma alta vazão de água, o sistema de convecção dos coletores solares trabalham de forma mais eficaz.

Portanto, a sugestão é de modificação das válvulas solenoides para um conjunto de válvula mecânica com um motor de passo de 5 V (como o utilizado para realizar a agitação da água). Sendo que, o motor serviria para realizar a abertura e o fechamento da válvula mecânica, o que auxiliaria em dois aprimoramentos importantes do sistema:

- Economia de energia: pois as válvulas solenoides são ligadas na rede de 127 V e seu acionamento é contínuo enquanto a válvula necessita estar ligada, consumindo mais energia que se fosse um acionamento instantâneo. O motor de passo seria ligado na própria alimentação do microcontrolador de 5 V e possui acionamento apenas para realizar a abertura ou fechamento da válvula mecânica, ou seja, atua de forma instantânea.
- Aumento da vazão de água: pois uma válvula mecânica não possui componentes que causam a resistência da passagem de água em seu interior.

Ainda a respeito de sugestões para melhora técnica do protótipo, pode-se citar a utilização de um cata-vento como misturador e equalizador da água dentro do reservatório. Assim como, utilizar princípios *wireless* para comunicação do sistema supervisório com o arduino, e até mesmo, elaboração uma aplicação com conexão WEB.

Além disso, é sugerido que nos próximos trabalhos tenha-se uma ênfase e estudo mais aprofundado referente a utilizar o protótipo apresentado como sistema de aquecimento de casas do projeto “Minha Casa, Minha Vida”.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A.K., ABUKATER, J.,BALDACCI, E., BESSA, V. M. T., GONÇALVES, O. M., HACHICH, V., LAMBERTS, R., PEREIRA, E. M. D., PRADO, R. T. A., TRANO, E., TRIANA, M. A. **Eficiência Energética e Habitação de Interesse Social no Estado de São Paulo**. São Paulo, Brasil, 2010.

ACCARDI, Adonis; DODONOV, Eugeni. **Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos**. São Carlos: UFSCar, 2012.

ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: https://www.arduino.cc/en/Main/Software Acesso em: 20 de outubro de 2018

AURESIDE, Associação Brasileira de Automação Residencial. **Especial Tecnologia: O Futuro na Ponta dos Dedos**, 2012. Acesso disponível em: http://www.aureside.org.br/publicacoes-aureside Acesso em: 06 de abril de 2019.

BASSO, L., SOUZA, S., SIQUEIRA, J., NOGUEIRA, C., SANTOS, R. **Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar**. Scielo, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a02v30n1 Acesso em: 07 de outubro de 2018

BERTULANI, Carlos. **Apostila de Mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro: UFPR, 1999. Disponível em: https://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrostatica/pressao.html Acesso em: 07 de abril de 2019.

BISQUOLO, Paulo Augusto. **Resistência elétrica, resistividade e leis de Ohm**, 2010.
Disponível em: http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u46.jhtm Acesso em: 07 de abril de 2019.

BRANDÃO, Rosana. **Estudo de viabilidade da utilização de pvc, pex e ppr em empreendimentos multifamiliares**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

BRASKEM. **PVC na construção e arquitetura**. Catálogo Braskem, 2009.

BUKMAN, Guilherme. **Desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para segurança residencial**. UFOP: Ouro Preto, 2016.
Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/280/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoDeProt%C3%B3tipo.pdf
Acesso em: 10 de maio de 2019.

CARDOSO, Líuam; FREITAS, Fernando; WORTMEYER, Charles. **Automação Residencial**: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Rio de Janeiro: AEDB, 2005.

COIMBRA, N., AZAMBUJA, C., DALMAS, T., COELHO, L. **Eficiência Térmica de Coletor Solar de Baixo Custo**. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2008. Disponível em:

http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2008/coletorsolarbaixocusto.pdf Acesso em: 05 de outubro de 2018

COPEL. **Tarifa Convencional - subgrupo B1**, 2018. Disponível em: https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fc28b22b01ad9182403257488005939bb Acesso em: 14 de abril de 2019.

DIAS, César; PIZZOLATO, Nélio. **Domótica: Aplicabilidade e Sistemas de Automação Residencial César Luiz de Azevedo Dias**. Rio de Janeiro: Essentia Editora, 2005.

ELIPSE SOFTWARES. **Elipse E3**, 2015.Disponível em: https://www.elipse.com.br /prod utos/elipse-e3/ Acesso em: 21 de outubro de 2018

ENERGIA SOLAR. **Coletores solares térmicos**, 2018. Disponível em: https://pt.solar-energia.net Acesso em: 15 de outubro de 2018

ENGINEERING TOOLBOX. **Plastic Pipes - Operating Temperatures**, 2010. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/plastic-pipes-operating-pressure-d_1621.html Acesso em: 03 de setembro de 2018

GUEDES, Manuel. **A Lei de Joule**. Porto: FEUP, 2000. Disponível em: https://www.electronica-pt.com/pdf/lei-joule.pdf Acesso em: 07 de abril de 2019.

INMETRO. **Tabela de Consumo de Energia Elétrica - Chuveiros Elétricos**, 2016. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/chuveiro.pdf Acesso em: 28 de setembro de 2018

JUNIOR, A., MEI, L. **Mecanismos de Degradação e Estabilização Térmica do PVC**. Scielo, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282007000300018 Acesso em: 02 de setembro de 2018

LIDE, D. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. Boca Raton (FL), 1990.

MADEIRA, Daniel. **Integração Arduino e Elipse Scada**. Embarcados, 2016. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/integracao-arduino-e-elipse-scada/ Acesso em: 10 de maio de 2019.

MARTON, M. **Aquecimento de Água por Energia Solar**. São Paulo: UNICAMP, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200006 Acesso em: 27 de setembro de 2018

MESSIAS, Alan. **Edifícios "Inteligentes"**: A domótica aplicada a realidade brasileira. Ouro Preto: UFPO, 2007.

NBR 7198. **Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro, 1993.

NBR 7198. **Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro, 1982.

NBR 5626. **Projeto predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.

NBR 12269. **Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água**. Rio de Janeiro, 1992.

NBR 15569. **Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto**. Rio de Janeiro, 2008.

NBR 15747. **Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2009.

PRADO, C., GUIMARÃES, G. **Banho quente, frio ou morno: qual é a melhor temperatura para o seu corpo ?.** Viva Bem, 2017. Disponível em: https://vivabem .uol.com.br/noticias/redacao/2017/09/13/banho-quente-frio-ou-frio-qual-e-a-melhor-temperatura-para-o-seu-corpo.htm Acesso em: 05 de setembro de 2018

RINNAI. **Aquecimento de Água através de Energia Solar**. Disponível em: http://www.rinnai.com.br/almanaque/aquecimento_solar_17 Acesso em: 02 de outubro de 2018

RUSSEL, J.B. **Química Geral**. 2ª ed, Trad. M. A. Brotto et al, São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1994.

SOCIEDADE DO SOL. **Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC**. São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.sociedadedosol.org.br/wp-content/uploads/2013/07/manual-do-asbc-maio2010-v3-0.pdf Acesso em: 08 de abril de 2019.

SOLARTEC. **Instalação de Aquecedor Solar**. Disponível em: http://www.solartec. com.br/instalacao-de-aquecedor-solar/ Acesso em: 15 de outubro de 2018

TIMM, P. **What Temperature Range for PVC Pipe?**. Hunker, 2018. Disponível em: https://www.hunker.com/13401342/what-is-the-difference-between-pvc-cpvc-pipe Acesso em: 02 de setembro de 2018

VARELLA, M., GUERRA, S. **Análise Do Desempenho Térmico De Um Sistema De Aquecimento Solar De Baixo Custo Na Cidade De Mossoró (Rn)**. Holos, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.15628/holos.2014.1266 Acesso em: 01 de outubro de 2018

WGSOL. **Aquecedor solar tradicional e a vácuo. Entenda a diferença.** Disponível em: https://wgsol.com.br/aquecedor-solar-tradicional-e-a-vacuo-entenda-a-diferenca Acesso em: 6 de outubro de 2018.

WOLLZ, Fabiola. **Estratégias para Otimização da Iluminação e Redução do Consumo Energético em Edifícios Residenciais**. Especialize, 2012.

ANEXO A – CÓDIGO DO SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

Esse anexo corresponde ao código utilizado para o controle das válvulas e leitura dos sensores para controle da temperatura da água no reservatório.

```
//Declaração de variáveis
#include <SimpleModbusSlave.h>
#include <Stepper.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

//Chamando a biblioteca do motor de passo
const int stepsPerRevolution = 500;
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);

//Declaração do pino e dos dois sensors de temperature utilizando a biblioteca OneWire
OneWire pino(3);
DallasTemperature barramento(&pino);
DeviceAddress sensor1;
DeviceAddress sensor2;

//Declaração das tags que serão lidas pelo Sistema supervisório, o Elipse
enum {
  Motor,
  SensorNivel1,
  SensorNivel2,
  SensorNivel3,
  SistemaGeral,
  TemperaturaAgua,
  Valvula1,
  Valvula2,
  HOLDING_REGS_SIZE
};

//Inicializar a biblioteca das tags declaradas
unsigned int holdingRegs[HOLDING_REGS_SIZE];

//portas de entrada
const int SNA = 4; //sensor nivel alto
const int SNM = 5; //sensor nivel medio
const int SNB = 6; //sensor nivel medio
const int entradacx = 7; //valvula de entrada da agua da caixa de água no boiler
const int entradaco = 12; //valvula de entrada da agua do coletor pro boiler

//declarar variaveis auxiliares do sistema
float temperaturafinal, temperatura1, temperatura2, deltatemperatura;
int SituacaoSistema;
```

```
void setup(){
//configuração da comunicação do Arduino com o Elipse
  modbus_configure(&Serial, 9600, SERIAL_8N1, 1, 2, HOLDING_REGS_SIZE,
holdingRegs);
  modbus_update_comms(9600, SERIAL_8N1, 1);
//Iniciando a comunicação serial do arduino
  Serial.begin(9600);
//Inicializando a biblioteca de leitura dos sensors de temperatura
  barramento.begin();
//Identificando os sensors de temperatura
  barramento.getAddress(sensor1, 0);
  barramento.getAddress(sensor2, 1);
//Setando como entrada os dados dos sensores de nível
  pinMode(SNA, INPUT);
  pinMode(SNM, INPUT);
  pinMode(SNB, INPUT);
//Setando como saída as válvulas solenoides
  pinMode(entradacx, OUTPUT);
  pinMode(entradaco, OUTPUT);
  SituacaoSistema = 1;
}

void loop(){
  //ler temperaturas, pegar a média e mostrar no SS
  modbus_update();
  //ler a temperatura e mostrar no SS
  barramento.requestTemperatures();
  temperatura1 = barramento.getTempC(sensor1);
  temperatura2 = barramento.getTempC(sensor2);
  temperaturafinal = (temperatura1+temperatura2)/2;
  deltatemperatura=abs(temperatura1-temperatura2);
  holdingRegs[TemperaturaAgua] = temperaturafinal;
  //ler os sensores de nivel e mostrar no SS
  holdingRegs[SensorNivel1] = digitalRead(SNA);
  holdingRegs[SensorNivel2] = digitalRead(SNM);
  holdingRegs[SensorNivel3] = digitalRead(SNB);
  modbus_update();
  SituacaoSistema = holdingRegs[SistemaGeral];
   if (digitalRead(SNB)==0){ //nao importa se Sistema esta ligado ou desligado, sempre
que o nivel de agua estiver baixo, a caixa deve-se encher novamente
     digitalWrite(entradacx, LOW);
     holdingRegs[Valvula2] = 0;
   }
  if (digitalRead(SNA)==1){ // nao importa se Sistema esta ligado ou desligado, sempre
que o nivel de agua estiver alto, a valvula da caixa de água deve fechar
    digitalWrite(entradacx, HIGH);
//enviando a informação para o Elipse
     holdingRegs[Valvula2] = 1;
  }
```

```
 if (SituacaoSistema <=0){ //sistema desligado
    digitalWrite(entradaco, HIGH);
    holdingRegs[Valvula1] = 1;
 } else { //sistema ligado
//verificando se a diferença de temperature entre os dois sensors é maior que 5
      if (deltatemperatura>=5){
        holdingRegs[Motor] = 1;
        GirarMotor(); //se for maior que 5 °C o motor gira para equalizer a água
      } else {
        holdingRegs[Motor] = 0;//se não, não movimenta o motor
      }
//verificação dos cenários possíveis
      if (digitalRead(SNM)==1 && digitalRead(SNA)==0){
         if (temperaturafinal>38){
            digitalWrite(entradaco, HIGH);
            holdingRegs[Valvula1] = 1;
            digitalWrite(entradacx, LOW);
            holdingRegs[Valvula2] = 0;
         } else if (temperaturafinal<=38){
            digitalWrite(entradaco, LOW);
            holdingRegs[Valvula1] = 0;
            digitalWrite(entradacx, HIGH);
            holdingRegs[Valvula2] = 1;
         }
      }
      if (digitalRead(SNM)==0 && digitalRead(SNB)==1){
         if (temperaturafinal>38){
            digitalWrite(entradaco, HIGH);
            holdingRegs[Valvula1] = 1;
            digitalWrite(entradacx, LOW);
            holdingRegs[Valvula2] = 0;
         } else if (temperaturafinal<=38){
            digitalWrite(entradaco, LOW);
            holdingRegs[Valvula1] = 0;
            digitalWrite(entradacx, LOW);
            holdingRegs[Valvula2] = 0;
         }
      }

      if (digitalRead(SNA)==1){
         if (temperaturafinal>38){
            digitalWrite(entradaco, HIGH);
            holdingRegs[Valvula1] = 1;
            digitalWrite(entradacx, HIGH);
            holdingRegs[Valvula2] = 1;
         } else if (temperaturafinal<=38){
            digitalWrite(entradaco, LOW);
            holdingRegs[Valvula1] = 0;
            digitalWrite(entradacx, HIGH);
```

```
            holdingRegs[Valvula2] = 1;
          }
        }

        if (digitalRead(SNB)==0){
          if (temperaturafinal>38){
            digitalWrite(entradaco, HIGH);
            holdingRegs[Valvula1] = 1;
            digitalWrite(entradacx, LOW);
            holdingRegs[Valvula2] = 0;
          } else if (temperaturafinal<=38){
            digitalWrite(entradaco, LOW);
            holdingRegs[Valvula1] = 0;
            digitalWrite(entradacx, LOW);
            holdingRegs[Valvula2] = 0;
          }
        }

    }
//final da verificação dos cenários possíveis
   modbus_update(); //atualizar tags no supervisório
}
//biblioteca para girar o motor e equalizer a água
void GirarMotor(){
  myStepper.setSpeed(25);
  for (int i = 0; i<=3; i++) {
     myStepper.step(-1000);
     delay(5);
  }
}
```