



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Juary Costa Rocha

CHUVEIRO INTELIGENTE:
Conectado numa rede IoT

Araranguá, Santa Catarina – Brasil
2021

Juary Costa Rocha

CHUVEIRO INTELIGENTE :

Conectado numa rede IoT

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Leonardo Elizeire Bremermann, Dr.

Araranguá, Santa Catarina – Brasil

2021

Notas legais:

Não há garantia para qualquer parte do software documentado. Os autores tomaram cuidado na preparação desta tese, mas não fazem nenhuma garantia expressa ou implícita de qualquer tipo e não assumem qualquer responsabilidade por erros ou omissões. Não se assume qualquer responsabilidade por danos incidentais ou consequentes em conexão ou decorrentes do uso das informações ou programas aqui contidos.

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.
Arquivo compilado às 10:30h do dia 24 de maio de 2021.

Juary Costa Rocha

Chuveiro Inteligente : Conectado numa rede IoT / Juary Costa Rocha; Orientador(a), Leonardo Elizeire Bremermann, Dr. – Araranguá, Santa Catarina – Brasil, 21 de Maio de 2021.
51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, EES – Departamento de Energia e Sustentabilidade, CTS – Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, Programa de Graduação em Engenharia de Energia.

Inclui referências

1. Otimização de Sistemas de Aquecimento, 2. Chuveiros Inteligente, 3. Internet das coisas, I. Leonardo Elizeire Bremermann, Dr. II. Programa de Graduação em Engenharia de Energia III. Chuveiro Inteligente

CDU 02:141:005.7

Juary Costa Rocha

CHUVEIRO INTELIGENTE: Conectado numa rede IoT

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado(a) para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia, e foi aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia de Energia do EES – Departamento de Energia e Sustentabilidade, CTS – Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina.

Araranguá, Santa Catarina – Brasil, 21 de Maio de 2021.

Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Coordenador(a) do Programa de
Graduação em Engenharia de Energia

Banca Examinadora:

Leonardo Elizeire Bremermann, Dr.
Orientador(a)
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC

Prof. Vinicius Faria Culmant Ramos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina –
UFSC

*Este trabalho é dedicado aos
filhos da nossa terra, Cabo Verde.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer aos meus pais, Ereneu e Margarida, por terem me feito o homem que sou hoje, e meus irmãos, Mira, Mario e Kelly. Ao meu tio Benvindo por ter me ensinado muito sobre elétrica e me ajudado a chegar ao Brasil. Aos amigos que fiz, ao longo desses anos, no Brasil, pois cada um deles me fez crescer de uma forma diferente. Aos meus irmãos do Brasil, Erick e Diefferson, por me terem acompanhado nesta longa caminhada durante estes anos. Também gostaria de agradecer ao professor Marcelo Zannim pelos ensinamentos na primeira fase de desenvolvimento deste trabalho. Ao professor Vinícius pelos ensinamentos do TI e por me permitir conhecer melhor o mundo acadêmico. A Maria pela ajuda com português e a Juliana por ser uma ótima amiga e pelos conselhos em dias difíceis. Finalmente, gostaria de agradecer ao PEG-G pela vaga, ao governo de Cabo Verde pela Bolsa de estudo e à Universidade Federal Santa Catarina por me acolher e permitir que eu obtivesse conhecimento que vim buscar no Brasil. Também agradeço ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Por último, agradeço a todos aqueles que não consegui mencionar por terem, de alguma forma, contribuído nesta caminhada.

RESUMO

Uma das necessidades básicas do ser humano é a disponibilidade de água quente para uso hidrossanitário. No Brasil um dos sistemas mais utilizados para aquecimento de água é o chuveiro elétrico. Apesar da sua ampla utilização no Brasil o chuveiro elétrico cria um problema para o setor energético, pois aumenta a demanda da rede elétrica nos horários de pico. Este trabalho apresenta um sistema, que permite a comunicação de um chuveiro elétrico convencional através de uma rede IoT, realizando o monitoramento, a coleta de métricas de consumo e controle remoto da temperatura de banho desejado, denominado de chuveiro inteligente. Como parte da metodologia desenvolveu-se um *hardware* que incluía alguns sensores (tensão, corrente e temperatura), que logo se conectam numa rede *Wifi* comunicando-se com um sistema de gerenciamento IoT. Adicionalmente implementou-se o sistema de gerenciamento e monitoramento IoT, utilizando softwares *open source*, que pode ser acessada via *Web*, que se comunica com o *hardware* instalado no chuveiro para aquisição de dados. O dispositivo se adequa às novas tendências de *Smart Homes* e *Smart City*, abrindo portas para novas integrações de sensores de uso doméstico, permitindo uma aproximação de baixo custo e fácil replicação. O trabalho permitiu obter dados para um melhor entendimento dos hábitos de consumo de energia que se realiza com o chuveiro em uma residência na vida cotidiana. Com resultados alcançados e por meio dos dados armazenados, podem ser realizadas análises mais profundas para se criar estratégias no âmbito do setor elétrico e energético referente ao consumo de energia e gestão necessária para conseguir uma demanda sustentável.

Palavras-chaves: Otimização de Sistemas de Aquecimento. Chuveiros Inteligente. Internet das coisas.

ABSTRACT

One of the basic needs of human beings is the availability of hot water for water use. In Brazil one of the most used systems for heating water is the electric shower. Despite its widespread use in Brazil, the electric showerhead creates a problem for the energy sector, as it increases the demand for electrical energy at peak times. This work presents a system that allows the communication of a conventional electric shower through an IoT network, realizing the monitoring, collection of consumption metrics and remote control of the desired bath temperature, called the smart shower. As part of the methodology, hardware was developed that included some sensors (voltage, current and temperature), which soon connects to the Wific network communicating with an IoT management system. In addition, the IoT management and monitoring system was implemented, using open source software, which can be accessed via Web, which communicates with hardware installed in the shower to acquire data. The device adapts to the new trends of Smart Homes and Smart City, opening doors to new integrations of sensors for home use, allowing a low cost approach and easy replication. The work allowed us to obtain data for a better understanding of the energy consumption habits that are carried out with the shower in a residence in everyday life. With results achieved and through the data stored, more in-depth analyzes can be carried out to create strategies in the scope of the electric and energy sector regarding energy consumption and management necessary to achieve sustainable demand.

Keywords: Heating Systems Optimization. Smart showers. Internet of thinks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho.	17
Figura 2	– Controle de potência por ciclos inteiros.	18
Figura 3	– Controle de potência por fase.	18
Figura 4	– Primeiros modelos de chuveiros industrializados.	19
Figura 5	– Funcionamento do chuveiro elétrico.	20
Figura 6	– Sistema para selecionar temperatura no chuveiro elétrico.	20
Figura 7	– Estrutura interna de um chuveiro eletrônico.	21
Figura 8	– Sistema de controle de fase do chuveiro eletrônico.	21
Figura 9	– Protocolo MQTT.	23
Figura 10	– Transformador de corrente.	24
Figura 11	– Transformador de potencial.	25
Figura 12	– Vantagens e desvantagens de sensores de temperatura.	26
Figura 13	– Fases de desenvolvimento do sistema.	27
Figura 14	– Modelo proposto.	30
Figura 15	– Modelo lógico.	31
Figura 16	– Modelo físico.	33
Figura 17	– Termômetro culinário digital e sensor do tipo K (multímetro).	35
Figura 18	– Calibragem do sensor temperatura.	36
Figura 19	– Instalação do sensor de temperatura de saída.	37
Figura 20	– Sensor de tensão AC-ZMPT101B.	37
Figura 21	– Calibração do sensor tensão.	38
Figura 22	– Sensor de corrente SCT-013-30.	39
Figura 23	– Sensor de corrente, nenhuma entrada.	39
Figura 24	– Sensor de corrente, leitura 1.8 A.	40
Figura 25	– Testes iniciais com uma resistência com potência de 400W.	41
Figura 26	– Montagem final do sistema de monitoramento e aquisição de dados.	42
Figura 27	– Montagem final do sistema de monitoramento e aquisição de dados.	42
Figura 28	– Chuveiro instalado.	43
Figura 29	– Coleta de dados, chuveiro desligado.	43
Figura 30	– Coleta de dados, chuveiro ligado no nível 5.	44
Figura 31	– Banco de dados, valores de corrente e tensão.	45
Figura 32	– Dados coletados de banho, potência e tensão.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Lista de componentes.	29
Tabela 2	–	Lista de softwares.	29
Tabela 3	–	Resultados das medições da temperatura	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IoT	Internet das coisas
RMS	Raiz quadrada média
SCR	Retificador controlado de silício
TRIAC	Triodo para corrente alternada
Celesc	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A
RTD	Resistance Temperature Detectors
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
TC	Transformador de corrente
TP	Transformador de potencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	16
3.2	CONTROLE DE POTÊNCIA	17
3.3	CHUVEIROS ELÉTRICOS CONVENCIONAIS	19
3.4	INTERNET DAS COISAS	22
3.4.1	Protocolo MQTT	22
3.5	MICROCONTROLADORES	23
3.5.1	ESP32-WROOM-32	23
3.5.2	Sensores	24
3.5.2.1	Sensor de corrente	24
3.5.2.2	Sensor de tensão	24
3.5.2.3	Sensor de temperatura	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	FASES DO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	27
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	29
5	SISTEMA PROPOSTO	30
5.1	MODELO LÓGICO	31
5.2	MODELO FÍSICO	32
5.3	CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA	33
6	RESULTADOS	34
6.1	CALIBRAÇÃO DOS SENSORES	34
6.1.1	Sensores de temperatura	34
6.1.2	Sensor de tensão	37
6.1.3	Sensor de corrente	38
6.2	TESTES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	40
6.3	COMUNICAÇÃO IOT	44
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
7.1	TRABALHOS FUTUROS	47

REFERÊNCIAS 49

1 INTRODUÇÃO

O desempenho de um sistema de aquecimento de água residencial é avaliado em função de critérios como consumo de energia e de água, atendimento à temperatura de consumo, saúde e segurança dos usuários. Um dos principais critérios de escolha de um tipo de sistema em relação a outro é o consumo de energia (SANGOI, 2015). No Brasil, mais de 73% dos domicílios possuem chuveiro elétrico (ELETROBRAS, 2007), principalmente devido ao seu baixo custo de implantação, mas representa uma parcela de alto gasto de energia do consumidor e isso também é um problema para as concessionárias de energia.

O chuveiro elétrico é uma tecnologia brasileira, desenvolvida no fim dos anos 40, que, devido à sua difusão, modificou os hábitos de banho do povo brasileiro. Se num primeiro instante, a sua difusão permitiu uma melhoria na qualidade de vida, hoje se tornou um problema do ponto de vista energético (PINHEIRO, 2006; SANGOI, 2015). Apesar de existirem diversos sistemas de aquecimento, como aquecedores a gás, bombas de calor e sistemas de aquecimento solar, o chuveiro elétrico continua sendo uma das formas mais utilizadas para aquecimento residencial de água quente (banho), representando 99,6% dos sistemas de aquecimento (SANGOI, 2015). Em horário de pico, a sua utilização é um problema para o setor energético, pois aumenta a demanda da rede elétrica nos horários em que a demanda já é alta (SANGOI, 2015).

Tendo em vista, o problema que o chuveiro traz para o setor energético, algumas cidades e alguns estados brasileiros já possuem legislações obrigando utilização de aquecimento solar para atender a uma parcela mínima da demanda de água quente. Por exemplo, na cidade de São Paulo existe a Lei nº 14.459/2007 que obriga os novos edifícios a terem, pelo menos, 40% da demanda de água quente atendida por energia solar (SANGOI, 2015). Neste sentido, o setor elétrico tem vindo ao, longo dos anos, tentando se modernizar, introduzindo novas tecnologias para melhor atender aos consumidores. Outro exemplo é o Projeto de Lei n. 2932/2015, Plano Nacional de Redes Elétricas Inteligentes, que visa à modernização dos serviços de distribuição de energia elétrica (COMUNICÇÃO, 2018).

Por outro lado, a internet das coisas (IoT) é uma tecnologia que permite a comunicação entre objetos do nosso dia a dia, que estão munidos de poder computacional e de comunicação, para se conectarem à internet. Com a conexão destes dispositivos à internet, obtém-se o poder de controlá-los e também coletar métricas, que podem ser utilizadas para entender ambientes onde os dispositivos se encontram inseridos, permitindo assim propor melhorias nos sistemas, abrindo novas possibilidades de aplicações (*SmartCities, Healthcare, Smart Home*) (SANTOS *et al.*, 2016). Para o setor elétrico, a internet das coisas tornar-se-á uma ferramenta essencial para gerenciamento do lado da demanda.

Para que exista uma melhor conscientização sobre a utilização do chuveiro elétrico, é fundamental que o consumidor entenda quanto sua utilização representa no consumo de energia elétrica final (MARIANO; CONTIERI, 2015). No mercado brasileiro, já existem chuveiros eletrônicos que utilizam implementação de novas tecnologias, tais como controle remoto, tela de LCD, rádio, etc., mas, de acordo com algumas pesquisas realizadas, não se encontrou um produto que permitisse fazer um registro e análise do consumo de energia do chuveiro.

Pelos motivos expostos, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema que, além de permitir ao consumidor configurar a temperatura do chuveiro de forma remota, também permite coletar dados e armazená-los para posterior análise que, segundo (CHAGURI JUNIOR, 2009), representa um acervo de informações relevantes para o conhecimento dos hábitos de consumo. O monitoramento e controle do chuveiro elétrico é uma escolha sustentável para a redução dos desperdícios de energia (SILVA *et al.*, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema, *hardware* e *software*, que permita a comunicação de um chuveiro elétrico em uma rede IoT para realizar o monitoramento, coleta de dados de consumo e controle remoto da temperatura de banho desejada, que se denominará chuveiro inteligente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver um hardware dedicado e acoplá-lo a um chuveiro elétrico convencional para coletar dados durante o período do banho, utilizando microcontrolador e alguns sensores como dispositivo de monitoramento em tempo real do consumo de energia.
- b) Configurar um sistema inteligente de gerenciamento de dispositivos IoT que permita administrar os dados coletados pelo chuveiro e enviar para o dispositivo de controle do chuveiro.
- c) Realizar testes do protótipo funcional desenvolvido: calibração dos sensores (tensão, temperatura e corrente).
- d) Realizar uma prova conceito (Prove of concept - PoC) para garantir o correto funcionamento do sistema.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

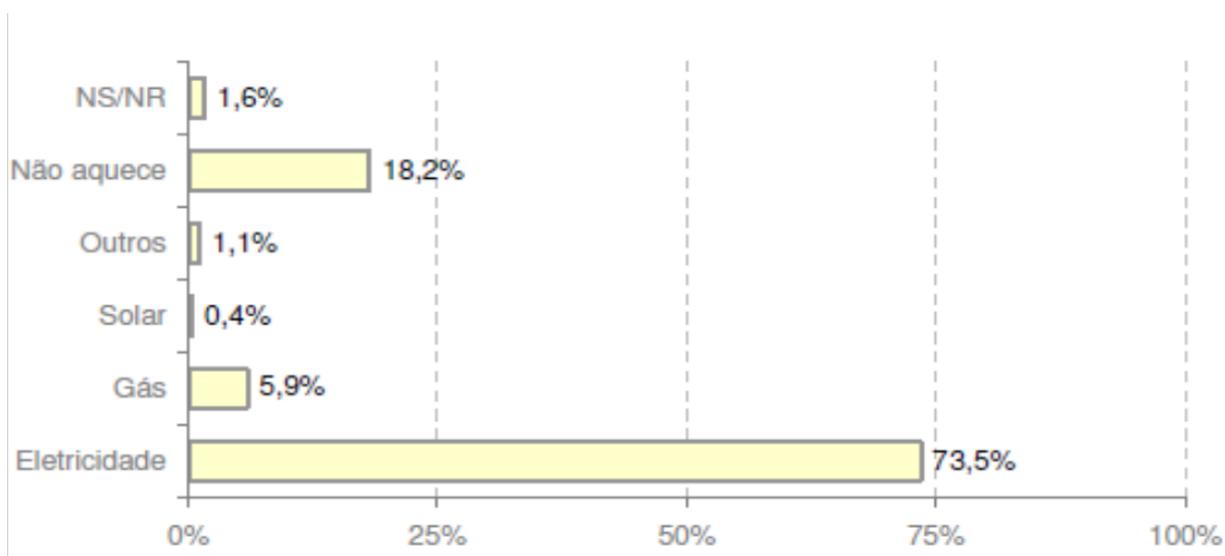
Esta seção apresenta alguns conceitos relacionados ao problema abordado, não só trazendo conceitos relacionados ao curso de engenharia de energia, mas também conceitos de Tecnologia de Informação e Comunicação, necessários para a realização do presente trabalho.

3.1 SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

A disponibilidade de água quente para uso hidrossanitário é considerada uma necessidade básica, por isso é mandatório um sistema de aquecimento de água (CHAGURI JUNIOR, 2009). Em uma residência, existem basicamente dois tipos de sistemas de aquecimento: os sistemas instantâneos e os de acumulação (SANGOI, 2015). O sistema instantâneo, também conhecido como sistema de passagem, é aquele em que a água é aquecida no equipamento e vai diretamente para o ponto de consumo, sem reservatório; já no sistema de acumulação, a água aquecida é armazenada em um reservatório para posterior utilização (SANGOI, 2015).

Segundo Chaguri Junior (2009), grande parte da água quente utilizada nas residências é destinada ao banho, excepto em algumas regiões, cuja a temperatura ambiente média é elevada. Dasquelas, grande parte utiliza eletricidade para realizar o aquecimento. Para que a água quente fornecida esteja em uma temperatura de conforto, está deverá estar entre 36 °C à 40 °C (KIELING, 1996). Ibrahim *et al.* (2014) afirma que o aquecimento de água é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia das residências em vários países, influenciado principalmente pelas condições climáticas, sendo esta também uma realidade brasileira. De acordo com dados da Eletrobrás, apenas 18,2% dos domicílios brasileiros não aquecem a água para banho, e a maioria das residências que possuem algum sistema de aquecimento de água utiliza eletricidade, como mostrado na Figura 1. Ainda, segundo o mesmo estudo, o chuveiro elétrico correspondeu a 99,6% de uso com relação aos que utilizavam eletricidade como forma de aquecimento (SANGOI, 2015).

Figura 1 – Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água para banho.



Fonte: Sangoi (2015)

Segundo Sangoi (2015), alguns autores afirmam que sistemas a gás e solares são mais eficientes que os chuveiros elétricos, mas ainda há uma resistência dos consumidores em adotar estes sistemas, sendo a principal barreira o custo inicial envolvido. Conforme a ABINEE (2010), um banho de oito minutos com chuveiro elétrico custava três centavos, em média, a mais do que aquele feito com chuveiro híbrido solar. Seu custo de aquisição e instalação era de R\$ 31,00, enquanto R\$ 888,00 do chuveiro híbrido solar, ou seja, 2.865% a mais do que o chuveiro elétrico.

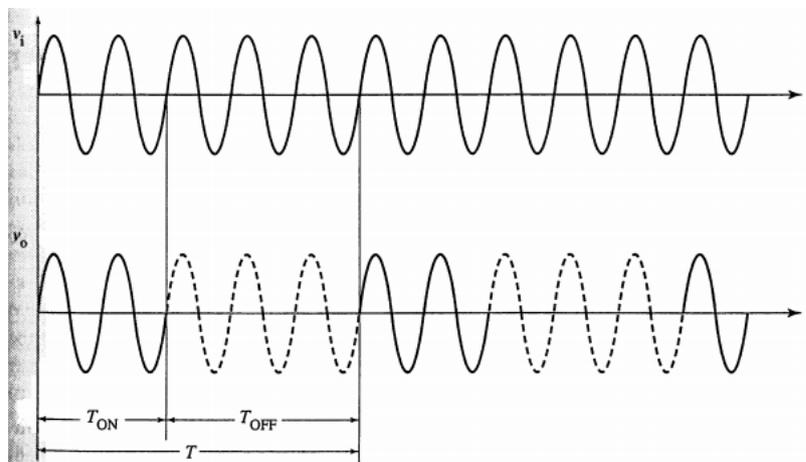
3.2 CONTROLE DE POTÊNCIA

O controle da potência em chuveiros pode ser realizada de duas formas: mecânica ou eletrônica. No controle mecânico, utiliza-se uma chave seletora de posições, sendo que o número de posições depende do fabricante e do modelo. Já o controle eletrônico utiliza gradadores (Triac ou par de SCR's) que alteram a forma da onda de modo a se obter a potência desejada na saída. Este tipo de controle pode ser realizado de duas formas: controle de potência por ciclos inteiros ou de fase (GERMINIANI, 2013).

O controle de potência por ciclos inteiros, Figura 2, baseia-se no fato do "gate" do semicondutor de potência sempre estar ligado no instante em que a forma de onda de tensão passe por zero (JÚNIOR, 2006). Normalmente, este ajuste é realizado utilizando-se um potenciômetro que gera um atraso de disparo do semicondutor. É um método utilizado normalmente quando o tempo de ajuste é alto. Um exemplo disso é o controle de temperatura (AHMED, 2008). A utilização deste método vem associado à flutuação da tensão da rede de energia, provocando cintilação luminosa

de lâmpadas, conhecida como efeito “*flicker*”, a qual acarreta problemas às instalações e equipamentos em redes de comunicações (JÚNIOR, 2006).

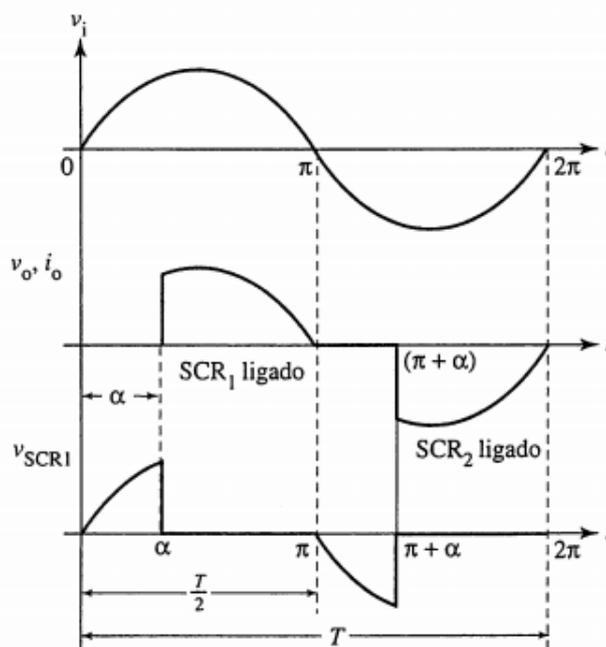
Figura 2 – Controle de potência por ciclos inteiros.



Fonte: Ahmed (2008).

O controle por fase, Figura 3, por outro lado, consiste em inserir um semiconductor de potência em série com a carga com que se deseja fazer o controle, enviando pulsos no “*gate*” do semiconductor, que irá cortar a onda de modo a se obter a potencia desejada. O problema desse tipo de controle é a geração de componentes harmônicos associados à distorção da forma de onda (GERMINIANI, 2013; JÚNIOR, 2006).

Figura 3 – Controle de potência por fase.



Fonte: Ahmed (2008).

3.3 CHUVEIROS ELÉTRICOS CONVENCIONAIS

O chuveiro elétrico é uma tecnologia brasileira, desenvolvida no fim dos anos 40, que, devido a sua difusão, modificou os hábitos de banho do povo brasileiro. Se num primeiro instante, a sua difusão permitiu uma melhoria na qualidade de vida, hoje se tornou um problema do ponto de vista energético (PINHEIRO, 2006; SANGOI, 2015).

Os primeiros chuveiros eram aparelhos artesanais, que foram evoluindo até chegarem ao chuveiro elétrico atual (PANDOLFO, 2016), sendo que os primeiros modelos de chuveiro elétrico produzidos em série para a comercialização eram feitos de metal, Figura 4.

Figura 4 – Primeiros modelos de chuveiros industrializados.



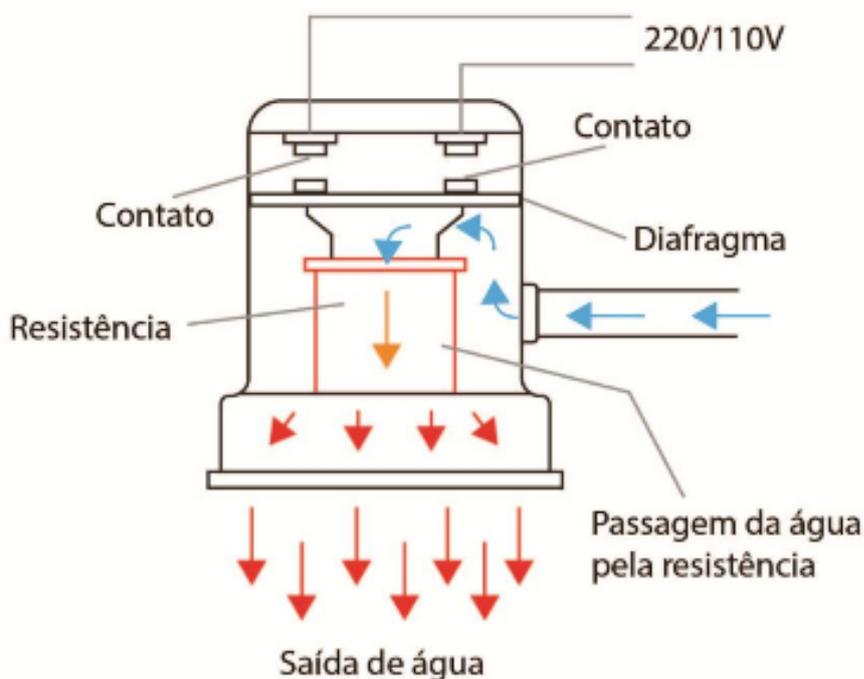
Fonte: Pandolfo (2016).

Um chuveiro é um dispositivo que tem como função proporcionar a melhor distribuição da água por meio de seus pequenos orifícios localizados na sua saída. Essa invenção já era utilizada desde o Egito e a Grécia antiga (PANDOLFO, 2016).

O chuveiro elétrico é um aquecedor de passagem, de alta potência e de baixo custo que possui no seu interior uma resistência elétrica, imersa numa câmara com água, que através do efeito joule fornece energia para o aumento da temperatura da água à medida que esta passa pela resistência (PILATTI, 2012).

Os principais componentes de um chuveiro elétrico são: o diafragma, a câmara de água e a resistência elétrica (PILATTI, 2012). Quando se abre o registro do chuveiro, a água entra na câmara e aciona o diafragma, Figura 5, que fecha os contatos elétricos, deixando a corrente fluir pela resistência. Este mecanismo impede que a resistência seja ligada sem água e ela se queime.

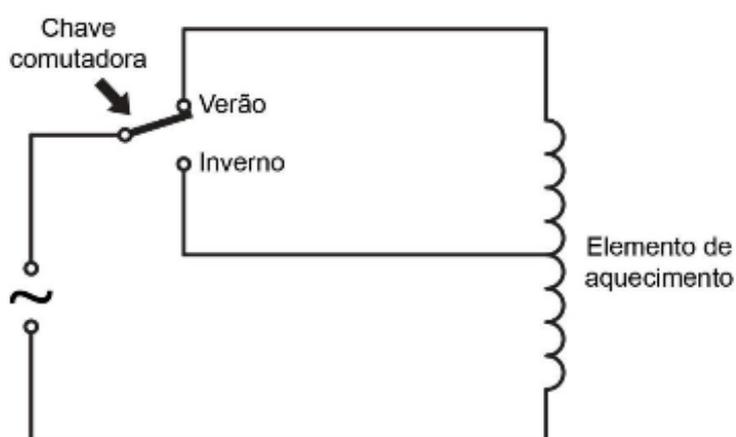
Figura 5 – Funcionamento do chuveiro elétrico.



Fonte: Pandolfo (2016).

Nos chuveiros em que se utiliza chave seletora, o funcionamento se baseia em variar o tamanho da resistência, conforme observado na Figura 8 (PANDOLFO, 2016).

Figura 6 – Sistema para selecionar temperatura no chuveiro elétrico.

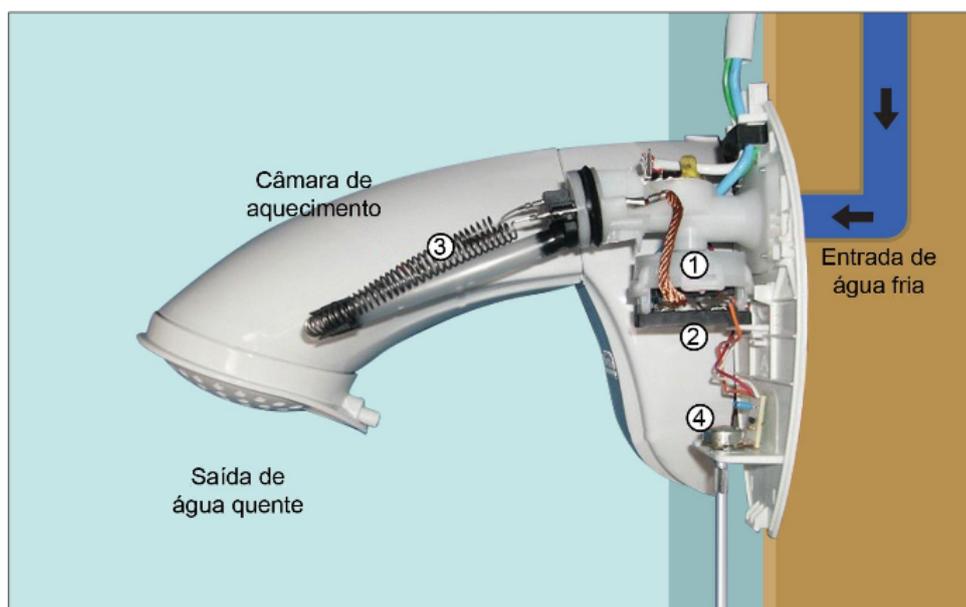


Fonte: Pandolfo (2016).

O chuveiro com controle de potência eletrônico é comumente chamado de chuveiro eletrônico e normalmente se utiliza o controle de fase (PANDOLFO, 2016). O chuveiro eletrônico, assim como os chuveiros elétricos convencionais, também são

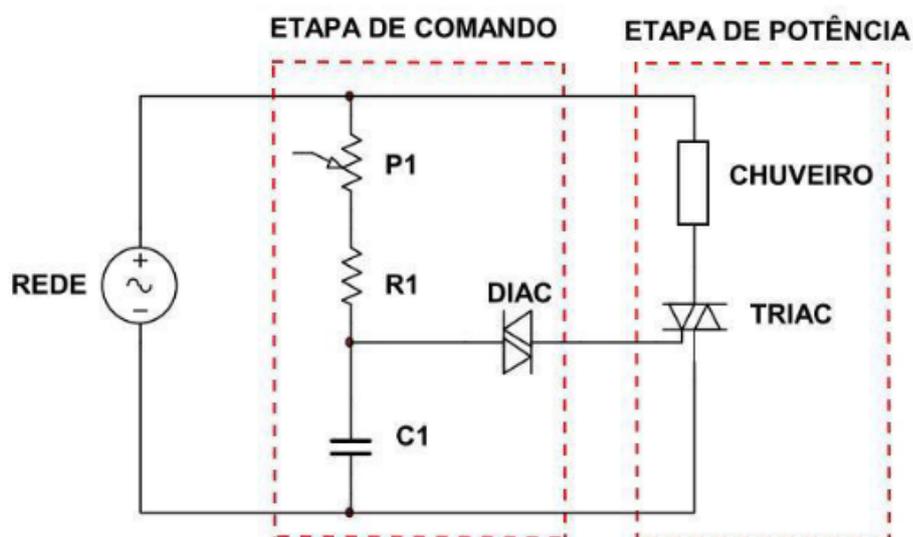
acionados por um diafragma, mas a diferença encontra-se na regulação da temperatura da água, pois neste a temperatura é regulada por meio de um potenciômetro associado ao TRIAC. A [Figura 7](#) apresenta um chuveiro eletrônico, em que a água entra com pressão, acionando o diafragma (1), este fecha os contatos elétricos (2), que faz a corrente elétrica fluir pela resistência (3), considerando que o potenciômetro (4) é utilizado para realizar a regulação da temperatura, por meio de pulsos enviados para o “gate” do TRIAC ([PANDOLFO, 2016](#)).

Figura 7 – Estrutura interna de um chuveiro eletrônico.



Fonte: [Pandolfo \(2016\)](#).

Figura 8 – Sistema de controle de fase do chuveiro eletrônico.



Fonte: [Germiniani \(2013\)](#).

3.4 INTERNET DAS COISAS

A *Internet* das coisas - do inglês: Internet of Things (IoT) - é uma tecnologia que permite a comunicação entre objetos do nosso dia a dia que estão munidos de poder computacional e com capacidade de conexão à *Internet*. A IoT é uma área que surge de diversas outras áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento (SANTOS *et al.*, 2016).

Em poucas palavras a *Internet* das coisas não é nada mais que a *Internet* atual, que permite adicionar objetos do dia a dia à rede e serem acessados como provedores de serviços. Esses objetos com capacidade de comunicação e processamento, aliados aos sensores, passam a ser denominados segundo Santos *et al.* (2016) de objetos inteligentes.

Esses objetos inteligentes podem prover serviços tais como quaisquer outros dispositivos na *Internet*, por exemplo, um objeto inteligente pode ser um servidor *Web* e qualquer usuário da *Internet* poderá ter acesso aos recursos disponibilizados por estes objetos inteligentes (SANTOS *et al.*, 2016).

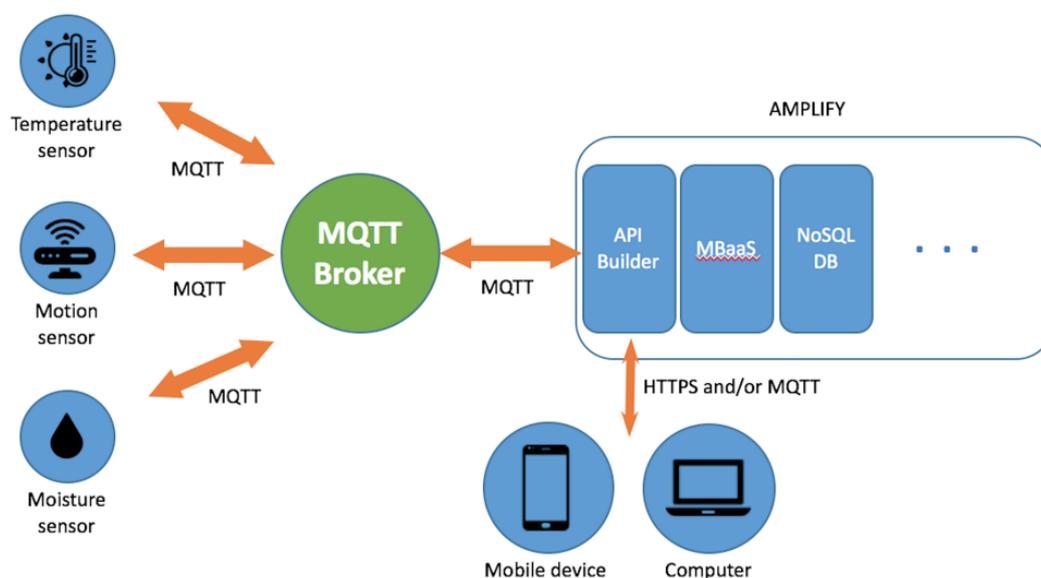
A conexão desses objetos na *Internet* é um desafio pois a utilização dos protocolos da *Internet* (arquitetura TCP/IP), sem modificações, é impraticável em dispositivos de recursos limitados, que são comuns na IoT (SANTOS *et al.*, 2016). Para se alcançar as demandas da IoT, novos protocolos são desenvolvidos, para viabilizar a utilização em dispositivos. Dois destes protocolos são o CoAP e MQTT, que são protocolos da camada de aplicação desenvolvidos especificamente para recuperar informações de dispositivos com baixo poder computacional (SANTOS *et al.*, 2016).

Segundo Santos *et al.* (2016), em uma pesquisa realizada pela Forbes, havia previsão de que em 2020 haveria mais de 40 bilhões de dispositivos IoT conectados na rede *Internet*.

3.4.1 Protocolo MQTT

O MQTT (do inglês: Message Queue Telemetry Transport) é um protocolo projetado para dispositivos extremamente limitados e utiliza a estratégia de *publish/subscribe* para transferir mensagens (SANTOS *et al.*, 2016). O objetivo do MQTT é minimizar o uso de largura de banda da rede e recursos dos dispositivos. Além disso, o MQTT provê mecanismos para a garantia de entrega de mensagens utilizando a rede da arquitetura TCP/IP (SANTOS *et al.*, 2016). O cabeçalho do protocolo MQTT pode ter tamanho fixo (dois *bytes*) ou variável. O protocolo tem três componentes básicos: o *subscriber*, o *publisher* e o *broker*, Figura 9, em que inicialmente os dispositivos (*subscriber*) se registram no *broker*, que avisa para eles, caso algum outro dispositivo (*publishers*) publique informações naquela subscrição. Neste caso os objetos inteligentes são os dispositivos que publicam informação (*publishers*), e o *broker* transmite essa informação para qualquer outro dispositivo que esteja como *subscriber*.

Figura 9 – Protocolo MQTT.



Fonte: K. S. (2018).

3.5 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um pequeno computador em um único circuito integrado contendo um núcleo processador, memória e periféricos de entrada/saída. Esses periféricos podem ser sensores, relés, atuadores, entre outros. Pode-se utilizar o microcontrolador para se criar sensores remotos, produtos de automação residencial, robôs entre outras aplicações. No mercado, existem diversos microcontroladores mas, nos últimos anos, tem tido bastante destaque é ESP32-WROOM-32 que é um microcontrolador robusto que permite criar uma grande variedade de aplicações.

3.5.1 ESP32-WROOM-32

O ESP32 é um poderoso microcontrolador de baixo custo com *WiFi* (2.4GHz) e *Bluetooth* integrado, que é desenhado para ser um dispositivo de *ultra-low-power* (ESPRESSIF, 2019). Segundo a fabricante, ESPRESSIF (2019), o dispositivo é especialmente desenhado para aplicações IoT, pois ele pode trabalhar em modo de baixo consumo, sendo acionado apenas periodicamente e em determinadas condições.

A série ESP32 emprega um microprocessador Tensilica Xtensa LX6 com duas variações dual-core e single-core, incluindo uma antena integrada, RF tipo balun, amplificador de potência, receptor de baixo ruído amplificado, filtros, gerenciamento de energia (ESPRESSIF, 2019).

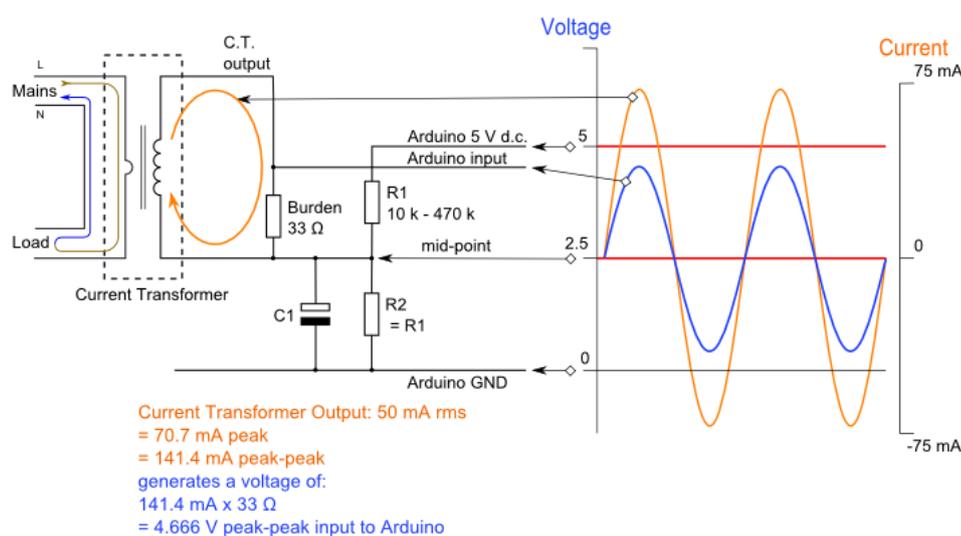
3.5.2 Sensores

Sensor é um dispositivo sensível à variação de grandezas físicas, que pode ser luminosa, térmica, cinética, que estão relacionando as informações que precisam ser medidas, tais como temperatura, pressão, velocidade, corrente, etc. (BASSO *et al.*, 2008). Os sensores elétricos são dispositivos eletrônicos ou eletromecânicos destinados a monitorar variáveis do processo, fornecendo informações por meio de impulsos elétricos ou variações de intensidade de um sinal, que pode ser analógico ou digital (BASSO *et al.*, 2008).

3.5.2.1 Sensor de corrente

A medição de corrente pode ser feita basicamente por dois métodos: efeito hall ou Lei de Ohm. Pela Lei de Ohm, utiliza-se um resistor *shunt*, que tem baixo custo, uma boa linearidade de medição. O transformador de corrente (TC), transforma a corrente que circula no enrolamento primário, em uma corrente induzida no secundário, geralmente linear e de menor grandeza, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Transformador de corrente.



Fonte: Monitor (2010).

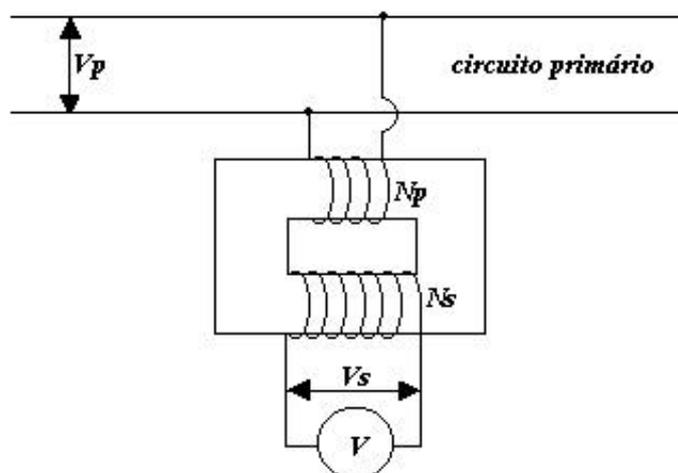
Ao se utilizar um TC, não há necessidade de abrir o circuito de passagem de corrente para fazer a sua medição, uma vez que possuem a capacidade de medir o campo induzido através da corrente (MARIANO; CONTIERI, 2015).

3.5.2.2 Sensor de tensão

A medição da tensão de corrente alternada realiza-se basicamente por dois métodos: divisores resistivos ou transformador de potencial (TP). No método dos divisores resistivos, a tensão a ser medida é aplicada nos terminais de dois resistores ligados

em série e uma amostragem é coletada nos terminais de um dos resistores. Já o método de transformador de potencial trata-se de um dispositivo para instrumentação cujo enrolamento primário é ligado em derivação comum no circuito elétrico, e o enrolamento secundário fornece uma baixa tensão proporcional à tensão a ser medida ou controlada, [Figura 11](#).

Figura 11 – Transformador de potencial.

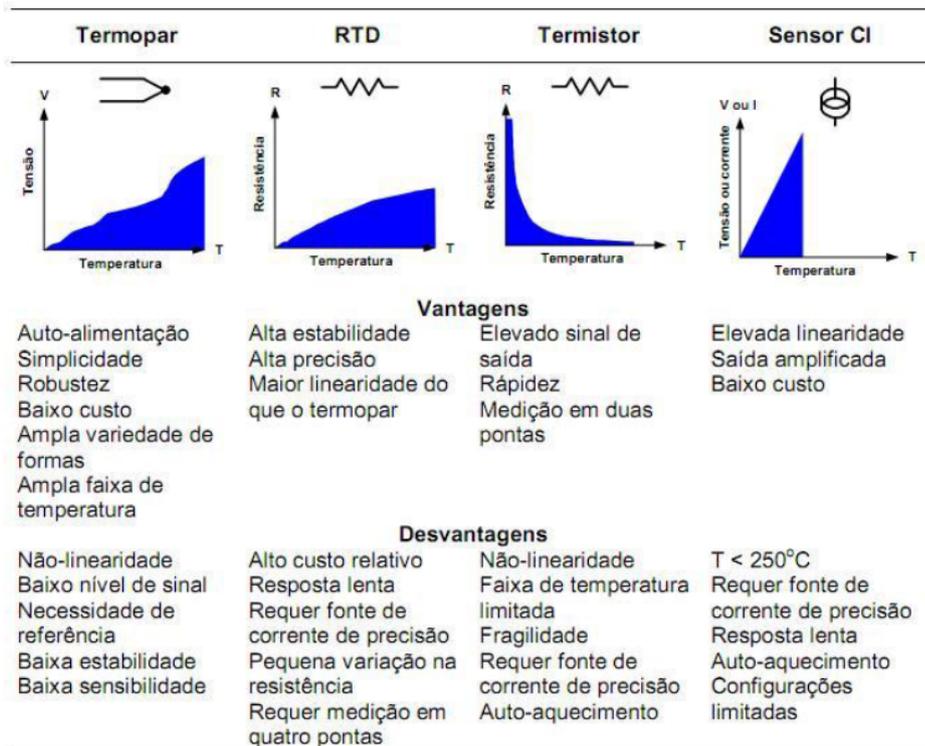


Fonte: [Monitor \(2010\)](#).

3.5.2.3 Sensor de temperatura

Segundo [Germiniani \(2013\)](#), existem quatro tipos principais de sensores para medição de temperatura e se destacam como: RTDs, Termistores, Termopares e Sensores que utilizam Circuitos Integrados (Sensores CI). Na [Figura 12](#), encontram-se algumas vantagens e desvantagens a serem levadas em conta, quando se pretende escolher um desses tipos de sensores de temperatura.

Figura 12 – Vantagens e desvantagens de sensores de temperatura.



Fonte: Germiniani (2013).

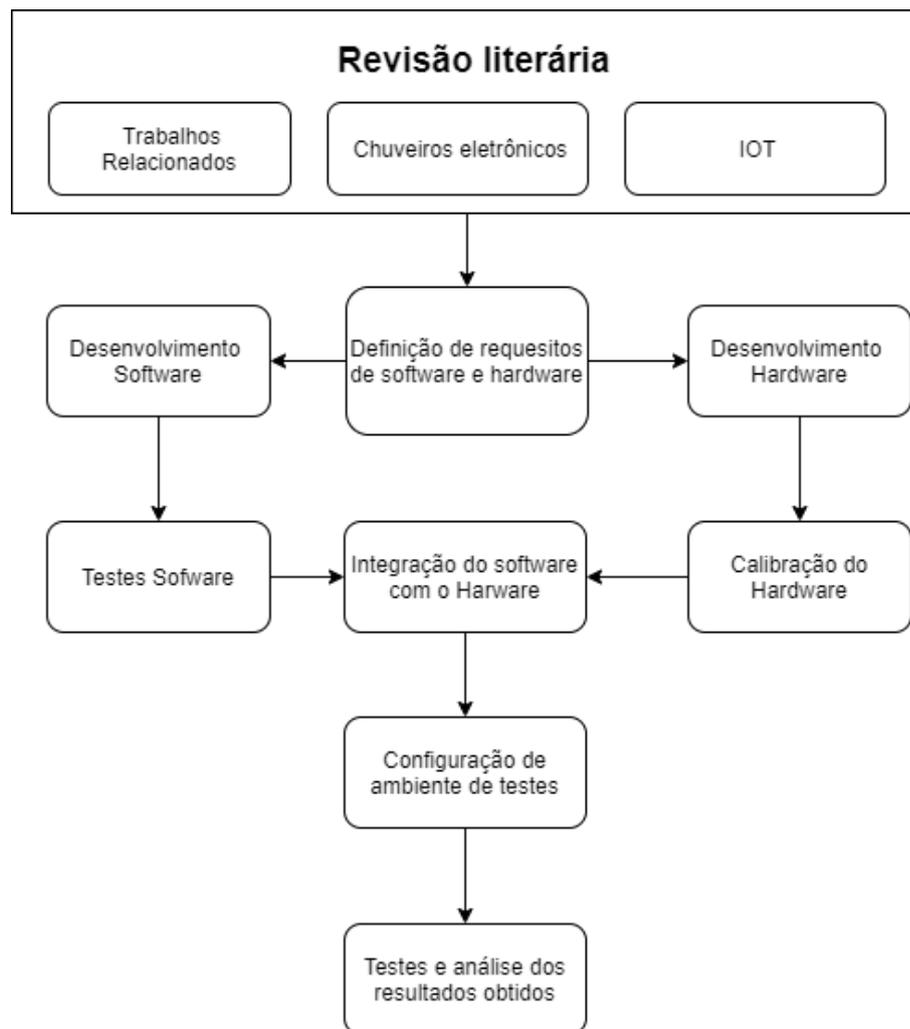
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, relata-se o procedimento para desenvolver o chuveiro inteligente. Quanto à abordagem do procedimento metodológico, esta é classificada como uma metodologia aplicada, dado que se procura, no âmbito deste trabalho, dar uma solução para um problema identificado utilizando por base a pesquisa científica para a identificação de métodos que permitam o desenvolvimento de soluções.

4.1 FASES DO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Na [Figura 13](#) são apresentadas as fases de desenvolvimento do sistema. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica para se contextualizar o tema. Na revisão foram encontrados poucos documentos publicados que abordavam os assuntos relacionados ao chuveiro elétrico conectado a uma rede inteligente.

Figura 13 – Fases de desenvolvimento do sistema.



Fonte: O autor.

A metodologia compreende cinco fases, sendo as seguintes; primeira fase: revisão de literatura; segunda fase: revisão e escolha de tecnologias; terceira fase: planejamento dos modelos; quarta fase: implementação dos modelos (*Software* e *Hardware*); quinta fase: calibração e testes do protótipo e análise de dados coletados.

Primeira fase: realizou-se uma revisão da literatura do tema proposto, em que se pudesse identificar metodologias que permitisse o desenvolvimento da solução proposta. Depois, fez-se uma busca no mercado por fabricantes de chuveiros de modo a ter um melhor entendimento dos modelos presentes.

Segunda fase: foi feita a identificação e escolha das diferentes tecnologias que poderiam ser utilizadas para transformar um chuveiro elétrico tradicional em um chuveiro inteligente. Neste processo, teve-se que entender alguns conceitos, tais como: redes de computadores, protocolos de comunicação (TCP/IP, MQTT), banco de dados, entre outros.

Terceira fase: foi desenvolvido o projeto dos modelos e iniciou-se a parte mais prática do trabalho, que foi projetar os possíveis circuitos, elaborar suas respectivas listas de especificações de componentes e escolher os softwares a serem utilizados.

Quarta fase: inicia-se a implementação dos modelos desenhados, construindo o hardware, programando os sensores e configurando o ambiente do sistema de gerenciamento, sendo esta fase uma das mais longas e complicadas.

Quinta fase: fez-se a validação do protótipo que incluiu a instalação do chuveiro inteligente numa residência, testes e coleta dos dados para posterior análise. A análise passou por encontrar padrões de utilização e consumo de energia do chuveiro.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Na [Tabela 1](#), apresentam-se os materiais utilizados para a montagem do protótipo.

Tabela 1 – Lista de componentes.

Nome	Descrição	Quantidade	Preço
SCT-013-100A	sensor de corrente	1	R\$ 20
ZMPT101B	sensor de tensão	1	R\$ 20
DS18B20	sensor de temperatura	1	R\$ 18
BTA30-600CW3G	Triac	1	R\$ 4
ESP32-WROOM-32	micronrolador	1	R\$ 40
MAX6675 com Termopar	sensor de temperatura	1	R\$ 20
Protoboard	Pcb perfurada 5x7cm	3	R\$ 12
HLK-PM01	Mini Fonte 3,3V	1	R\$ 40
Total			R\$ 174

Fonte: Produzido pelo autor.

Em relação aos softwares utilizados, opto-se por softwares *open source* para a implementação do sistema, estes são apresentados na [Tabela 2](#).

Tabela 2 – Lista de softwares.

Nome	Descrição	Licença
Home Assistant	Automação residencial	Open source
InfluxDB	Banco de dados baseado em time series	Open source
Eclipse Mosquitto	<i>MQTT</i> message broker	Open source

Fonte: Produzido pelo autor.

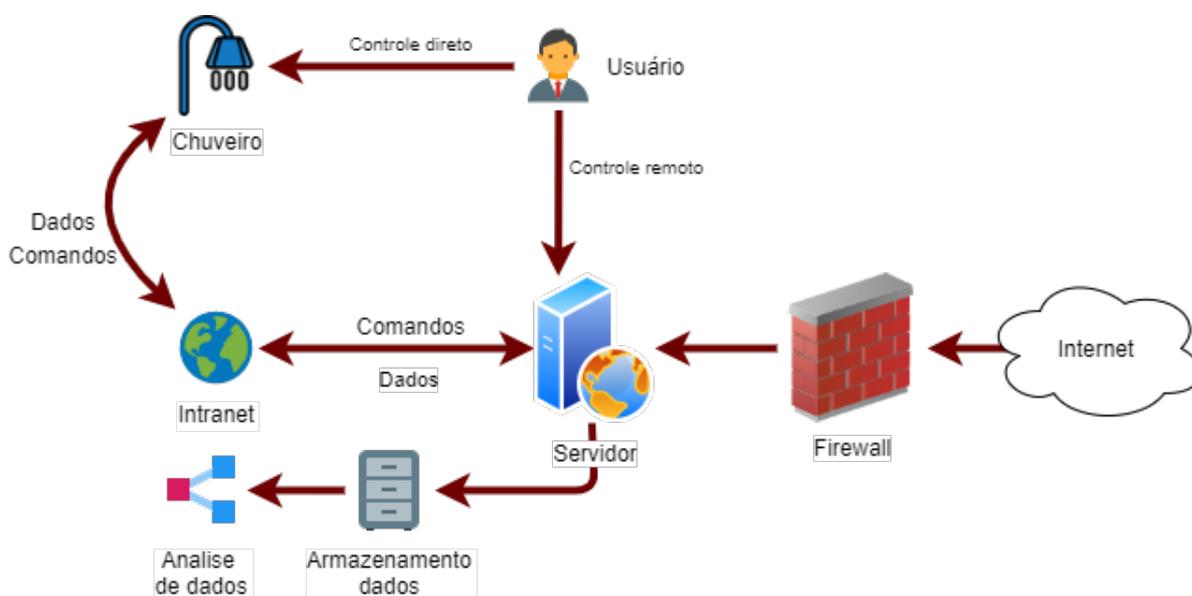
O sistema demorou em torno de três meses para ser concluído, sendo que o processo mais demorado foi o da construção e programação do *hardware*. A configuração dos *softwares*, foi o processo mais simples de se realizar, pois existem na bibliografia uma extensa documentação.

5 SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto consiste em duas subcategorias: o modelo lógico e o modelo físico. O primeiro apresenta os softwares e serviços que permitem ter o chuveiro inteligente conectado à uma rede *IoT*. Nele, se descreve as tecnologias e ferramentas utilizadas. O segundo modelo consiste no *hardware* desenvolvido, em que se apresentam os componentes utilizados para a montagem dos dispositivo, desde o microcontrolador até os sensores escolhidos.

Na Figura 14, tem-se o modelo geral do sistema, em que o usuário pode interagir com o chuveiro de forma direta ou remota por meio do sistema de gerenciamento *IoT*. O sistema de gerenciamento envia os comandos para o chuveiro por meio do *Wifi*, na rede interna, e este desenvolve para os dados de consumo. O sistema recebe os dados e estes ficam disponíveis para o consumidor. Os dados também são armazenados num banco de dados de *time series*, onde podem ser analisados posteriormente. A comunicação entre o sistema de gerenciamento e o chuveiro inteligente é realizada utilizando o protocolo *MQTT*.

Figura 14 – Modelo proposto.



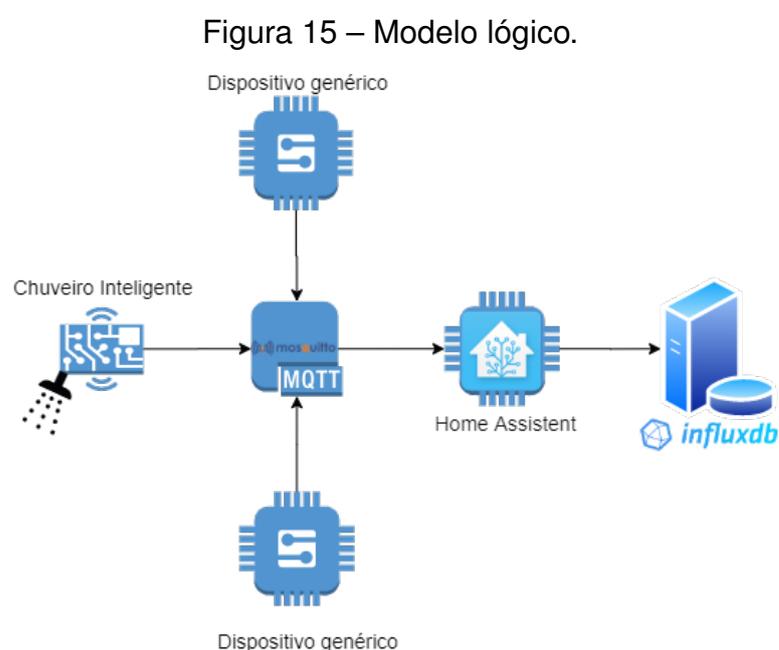
Fonte: O autor.

O *hardware* foi pensado de modo a ser o menos invasivo possível, podendo desta forma ser instalado num chuveiro convencional, sem a necessidade de modificar o chuveiro fisicamente. Nas próximas seções, descrevem-se os modelos lógico e físico de forma mais detalhada.

5.1 MODELO LÓGICO

Na [Figura 15](#), é apresentado o modelo lógico do sistema proposto, em que se observam os componentes. O primeiro componente é o chuveiro inteligente, que é o dispositivo que se quer conectar à rede inteligente. Para se obter essa rede, utiliza-se o protocolo *MQTT*, que é onde o chuveiro inteligente se conecta para enviar e receber informações. Outros dispositivos *IoT* também podem conectar-se a esse canal para enviar e receber informações, criando uma rede *IoT*. Para realizar a comunicação *MQTT* escolheu-se o *broker* *mosquitto*¹, onde todos os dispositivos *IoT* se conectam. Os dados gerados por esses dispositivos podem ser enviados para um sistema de gerenciamento. No modelo proposto, escolheu-se o software *Home Assistant*² como sistema de gerenciamento das informações coletadas. O *home assistant* é um *software open source* que permite o gerenciamento de dispositivos *IoT*.

Os dados recebidos pelo sistema de gerenciamento são armazenados num banco de dados. O banco de dados escolhido foi o *Influxdb*³, que é um banco de dados *open source*, baseado em série temporal. Como as informações são geradas em intervalos de tempo regulares, escolheu-se um banco de dados que permitisse guardar essas informações com base no tempo, otimizado para receber dados de dispositivos *IoT*.



Fonte: O autor.

¹ <https://mosquitto.org/>

² <https://www.home-assistant.io/>

³ <https://www.influxdata.com/>

5.2 MODELO FÍSICO

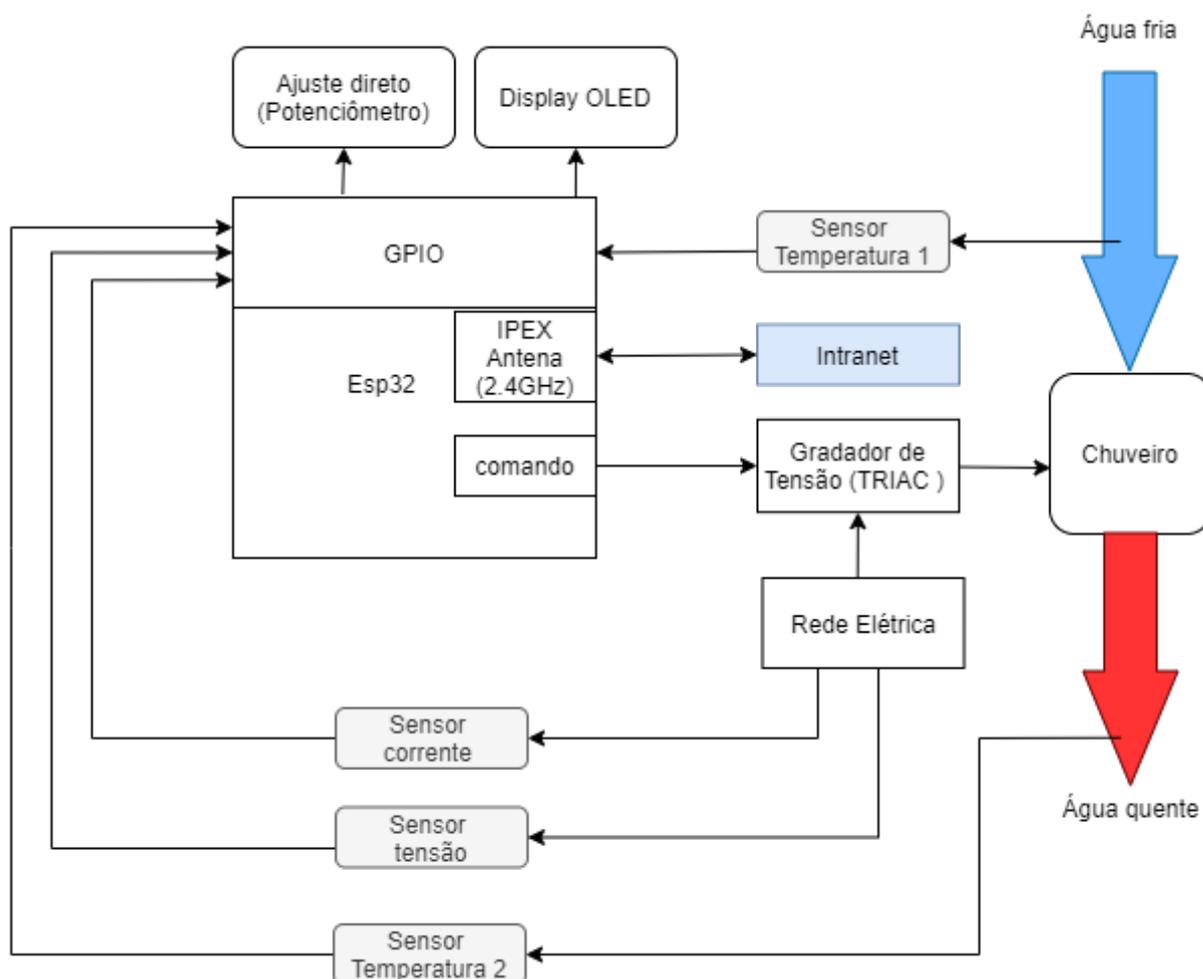
Na [Figura 16](#), apresenta-se o modelo físico proposto, constituído por um microcontrolador e quatro sensores - dois de temperatura, um de tensão e um de corrente. Para o controle da potência utilizou um triac acoplado em série com o chuveiro. O microcontrolador converte os dados coletados pelos sensores em dados elétricos e os envia por meio do *broker MQTT*, que logo são coletados pelo sistema de gerenciamento, permitindo ao consumidor monitorar o chuveiro em tempo real.

O microcontrolador escolhido foi o ESP32-WROOM-32, que é um microcontrolador de baixo custo e consumo. Ele trabalha com uma tensão de 3.3 V, vem com o módulo de rádio embutido (Wifi e Bluetooth), sendo considerado uma ótima escolha quando se necessita de um sistema compacto que necessita de comunicação via Wifi.

Para a leitura da corrente escolheu-se o sensor transformador de corrente, não invasivo, SCT-013 (30 A /1 V) e de tensão o sensor ZMPT101B (2 mA entrada, 2 mA saída).

Para a leitura de temperatura utilizou-se dois tipos de sensores, um do tipo analógico e um do tipo digital. O DS18B20 é um termômetro digital saída de 9-bit à 12-bit para as medições de temperatura em graus Celsius, tendo uma temperatura de operação na gama de -55 °C a +125 °C com uma precisão de $\pm 0,5$ °C ao longo da faixa de -10 °C a + 85 °C ([INTEGRATED, 2015](#)).

Figura 16 – Modelo físico.



Fonte: O autor.

5.3 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Configurou-se o home assistant, criando as entradas necessárias para a conexão com outros softwares. Estas configurações ficam armazenadas no arquivo `configuration.yaml`, na pasta `config` no diretório raiz do home assistant. No InfluxDb utilizou-se as credenciais criadas na configuração do home assistant para se criar o banco de dados, sendo esta uma tarefa relativamente simples. Para o broker mosquitto configurou-se a porta utilizada pelo home assistant e o hardware. No broker configurou-se as credenciais, que eram importantes pois apenas com estas se poderia receber ou enviar informações para o chuveiro. O software utilizado no dispositivo acoplado ao chuveiro foi desenvolvido utilizando linguagem C++, utilizando com ambiente de desenvolvimento o software do arduino. As configurações dos softwares, assim como as instruções necessárias para obter o ambiente utilizado, encontram-se disponíveis num repositório público no github⁴.

⁴ https://github.com/juaryR/tcc_chuveiro_inteligente

6 RESULTADOS

Nesse capítulo, serão apresentados os testes realizados e os resultados obtidos com o sistema proposto.

6.1 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

Na fabricação de qualquer sensor é impossível obter-se uma precisão absoluta e, quanto mais preciso for o equipamento, mais caro ele se torna. Ademais, com o passar do tempo, os equipamentos perdem precisão e precisam ser recalibrados. A calibração é um meio de corrigir erros que os equipamentos possam ter na sua leitura (MONITOR, 2010).

Para se calibrar os sensores de tensão e corrente, utilizaram-se as recomendações de (MONITOR, 2010), pois se utilizou uma biblioteca *open source*, *emonLibf*¹, para calcular os valores.

6.1.1 Sensores de temperatura

Utilizaram-se dois sensores de temperatura no trabalho. Um dos sensores escolhidos foi o DS18B20, que é um sensor de temperatura e tem uma excelente precisão, pois permite fazer leituras de 9 a 12 bits e possui uma comunicação por meio de um único fio. A tensão de alimentação varia de 3.3 a 5 V, assim não é necessário uma alimentação externa, pois se utiliza a alimentação do microcontrolador. As temperaturas de leitura variam entre -55 °C a +125 °C. Optou-se por se utilizar este sensor na entrada do chuveiro.

O outro sensor utilizado foi o termopar do tipo K, utilizando o componente MAX6675 que tem uma saída de resolução de 12-bit. O termopar do tipo K tem um tempo resposta baixo, por isso se escolheu o mesmo tipo para ser colocado na saída do chuveiro, permitindo que a variação de temperatura na saída seja obtido rapidamente.

A calibração dos sensores foi realizada fazendo a comparação entre os valores medidos pelos sensores e dois outros sensores. O primeiro é um termômetro culinário digital e sensor do tipo K, disponível no multímetro digital, apresentados na Figura 17.

¹ <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/calibration>

Figura 17 – Termômetro culinário digital e sensor do tipo K (multímetro).



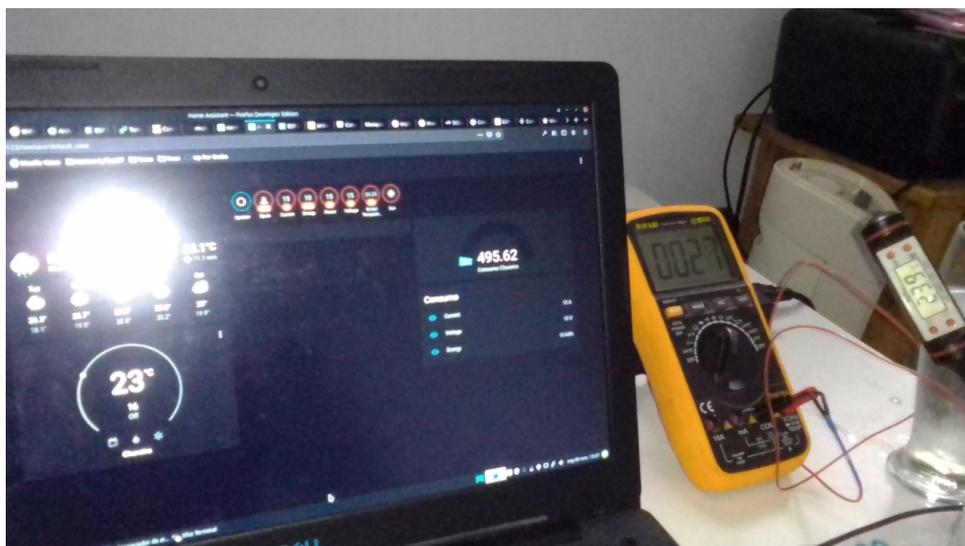
Fonte: O autor.

Para se fazer a calibração, fez-se a medição da temperatura dos 8 níveis disponíveis num chuveiro de 6.8 kW. Foram coletadas 3 amostras em cada um dos níveis e utilizados os sensores para verificar as temperaturas. O sensor do multímetro era o sensor mais sensível à variação, mas tinha um erro inicial bem alto, ou seja, quando os outros sensores apresentavam o valor em torno de 24 °C, ele apresentava um valor inicial de 27 °C.

Na [Tabela 3](#), apresentam-se os valores obtidos. O sensor do multímetro é um termopar tipo K, que possui uma alta precisão e alta resistência à oxidação. Optou-se por escolher o mesmo tipo de sensor para se colocar na saída do chuveiro pelo baixo tempo de resposta.

A partir da [Figura 18](#), pode-se observar que o sensor do multímetro tem um valor maior (27 °C) que os outros sensores, sendo a diferença de 0.9 °C.

Figura 18 – Calibragem do sensor temperatura.



Fonte: O autor.

Foram realizadas três coletas por nível, [Tabela 3](#), sendo que o chuveiro é um de oito níveis, como a seguir: do nível 1 ao 4, nível baixo; do nível 5 ao 6, intermediário; e o nível 7-8, alto de temperatura. Do nível 1 ao 4, não se observou nenhuma mudança na temperatura da água de saída do chuveiro, obtinham-se apenas mudanças de temperatura a partir do nível 5, quando se percebia que a parte elétrica do chuveiro era ligada, isso pode ser explicado pelo fato do diafragma não conseguir estabelecer o contato elétrico pela falta de pressão da água nesses níveis. Pelos valores obtidos, verificou-se que o sensor MAX6675 ficava bem perto do valor obtido pelo termômetro digital. Os valores eram registrados durante o intervalo de um minuto, depois de terem sido colocados os sensores nas amostras para se ter um tempo de estabilização de todos os sensores.

Tabela 3 – Resultados das medições da temperatura.

Níveis	MAX6675			Termômetro			Multímetro		
	Primeiro	Segundo	Terceiro	Primeiro	Segundo	Terceiro	Primeiro	Segundo	Terceiro
1	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	27°C	27°C	27°C
2	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	27°C	27°C	27°C
3	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	27°C	27°C	27°C
4	23°C	23°C	23°C	24°C	24°C	24°C	27°C	27°C	27°C
5	34°C	38°C	37°C	35°C	41°C	43°C	38°C	45°C	47°C
6	43°C	42°C	43°C	45°C	44°C	43°C	48°C	46°C	47°C
7	44°C	42°C	44°C	45°C	45°C	44°C	48°C	47°C	47°C
8	45°C	44°C	45°C	45°C	46°C	47°C	48°C	48°C	50°C

Fonte: Produzido pelo autor.

Após obter estes valores, instalou-se o sensor no chuveiro de modo a se verificar a temperatura obtida com ele colocado no chuveiro. Na [Figura 19](#), apresenta-se a

posição escolhida para colocar o sensor. Foram realizados alguns ajustes na posição do sensor para se conseguir obter um número aproximado aos obtidos anteriormente na [Tabela 3](#).

Figura 19 – Instalação do sensor de temperatura de saída.



Fonte: O autor.

6.1.2 Sensor de tensão

O sensor de tensão utilizado foi um AC-ZMPT101B, que tem uma alta precisão e uma boa confiabilidade para medição de tensão de corrente alternada, conseguindo obter valores de até 250 V ([ABUBAKAR et al., 2017](#)).

Figura 20 – Sensor de tensão AC-ZMPT101B.



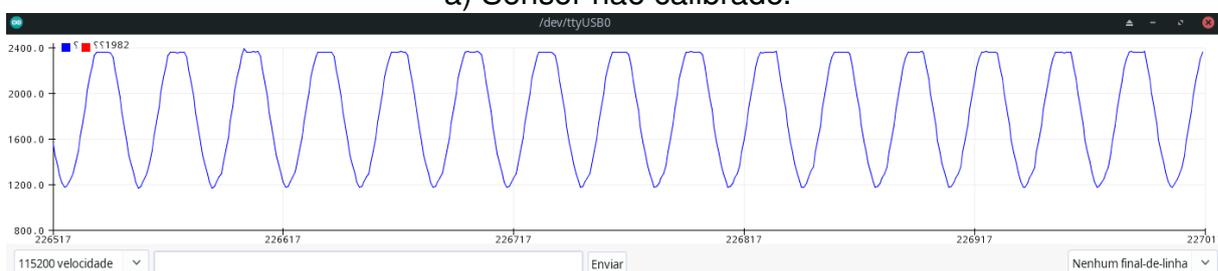
Fonte: [Cargua Ramos \(2020\)](#).

O sensor AC-ZMPT101B permite obter o valor *true RMS* da tensão mas, para isso, a forma de onda gerada necessita ser a mais parecida possível com uma senoide.

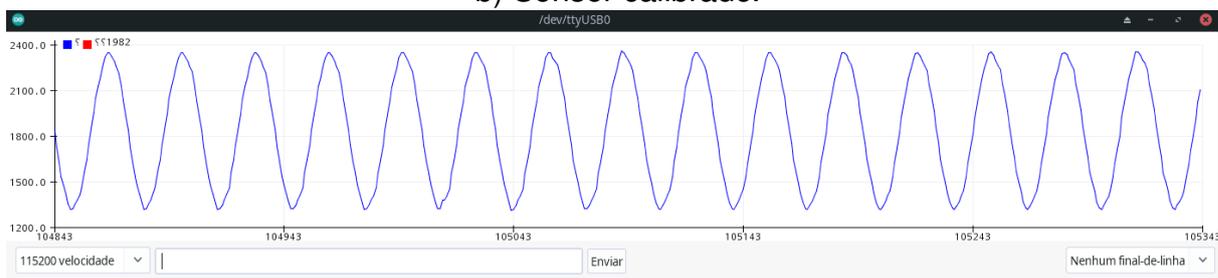
Para isso, precisou-se ler os valores obtidos da saída do sensor, plotando estes no computador, verificando se a forma obtida tinha-se a forma desejada. Como ainda não se tinha a forma desejada, [Figura 21-a](#)), foi feito o ajuste por meio do potenciômetro disponível no sensor. Na [Figura 21-a](#)), observa-se que a onda obtida inicialmente tinha um pequeno achatamento da parte superior e, após serem realizados os ajustes obteve-se a forma de onda desejada, como mostra o resultado final na [Figura 21-b](#)). Para obter os valores de tensão, optou-se por utilizar uma biblioteca de código aberto, voltado para o cálculo dos parâmetros elétricos obtidos por sensores, o EmonLib.

Figura 21 – Calibração do sensor tensão.

a) Sensor não calibrado.



b) Sensor calibrado.



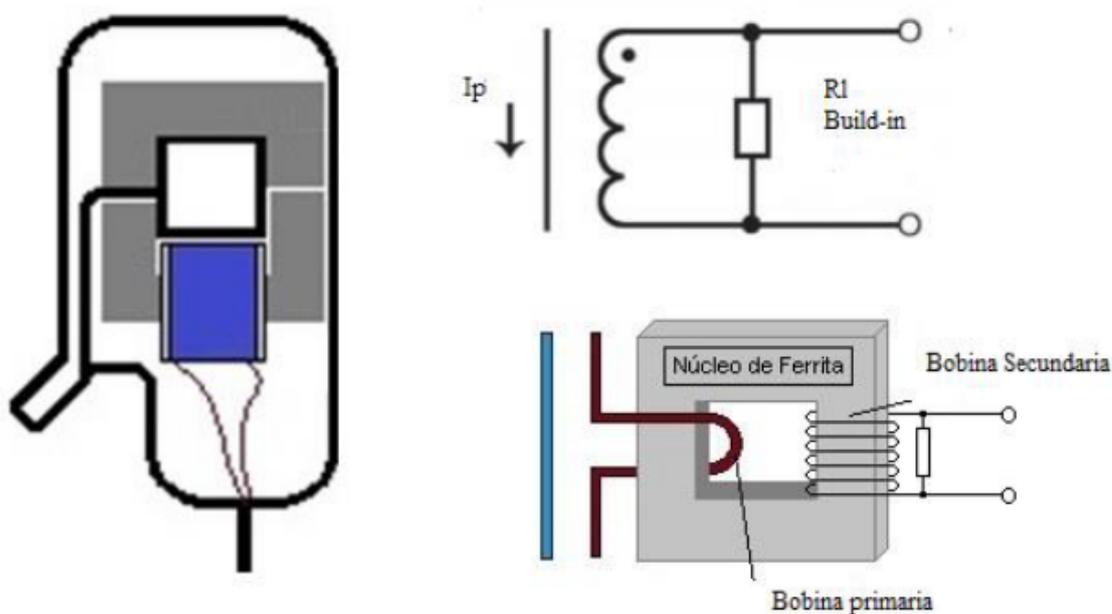
Fonte: O autor.

6.1.3 Sensor de corrente

O sensor de corrente utilizado foi um SCT-013-30 com a característica de medir uma corrente de até 30 A com uma saída de 1V. Para o cálculo dos valores de corrente, também se utilizou a biblioteca EmonLib, que tem suporte para este tipo de sensor. O SCT-013-30 é um sensor do TC, que permite obter a corrente de forma não invasiva. Primeiramente, conecta-se o sensor na fase em que se irá induzir uma corrente no secundário, e isso será lido pelo sensor que irá convertê-lo para o sinal desejado e calcular os valores de corrente desejados

Na [Figura 23](#), temos a representação da onda do sensor, sem corrente, passando no secundário do sensor, podendo verificar que, apesar de esperar que não tenha variação de entrada, pelo fato de a tensão ser zero, tem-se variação na forma da onda. Isso fez com que tenhamos um erro na leitura de valores de corrente, posterior na

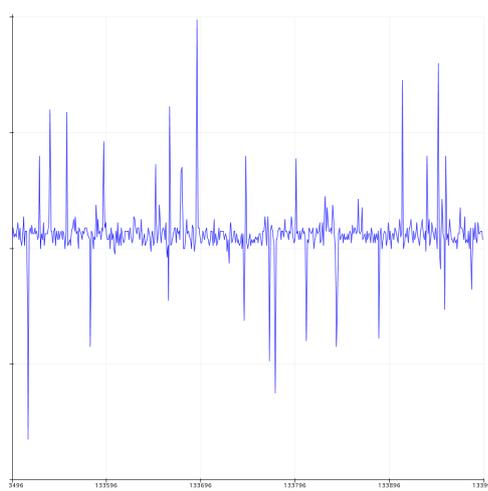
Figura 22 – Sensor de corrente SCT-013-30.



Fonte: [Cargua Ramos \(2020\)](#).

comparação entre o sensor e multímetro digital, verificou-se, portanto, uma variação na faixa de 1 mA.

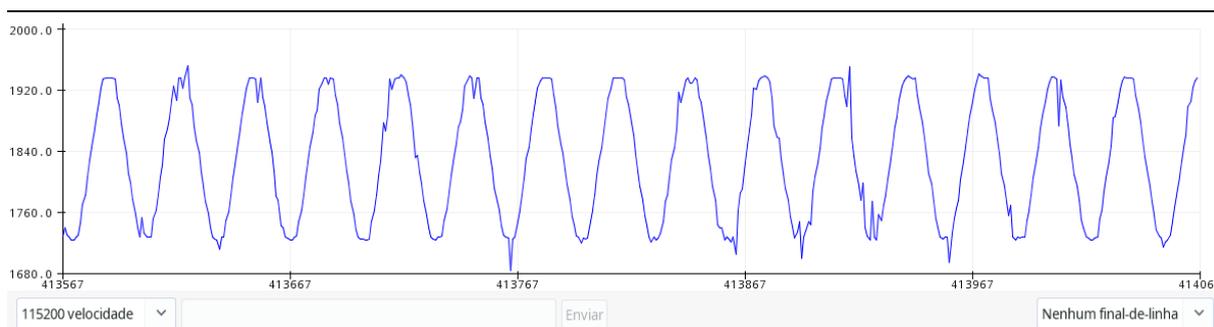
Figura 23 – Sensor de corrente, nenhuma entrada.



Fonte: O autor.

Essa flutuação na entrada influenciou a leitura de corrente para valores maiores. Como se pode observar na [Figura 24](#), a forma de onda foi obtido pelo sensor tem várias distorções. Os valores dos eixos na [Figura 23](#), não são os valores da grandeza, mas os valores dos bits de leitura do sensor, que são convertidos pela biblioteca `emonLibf`.

Figura 24 – Sensor de corrente, leitura 1.8 A.



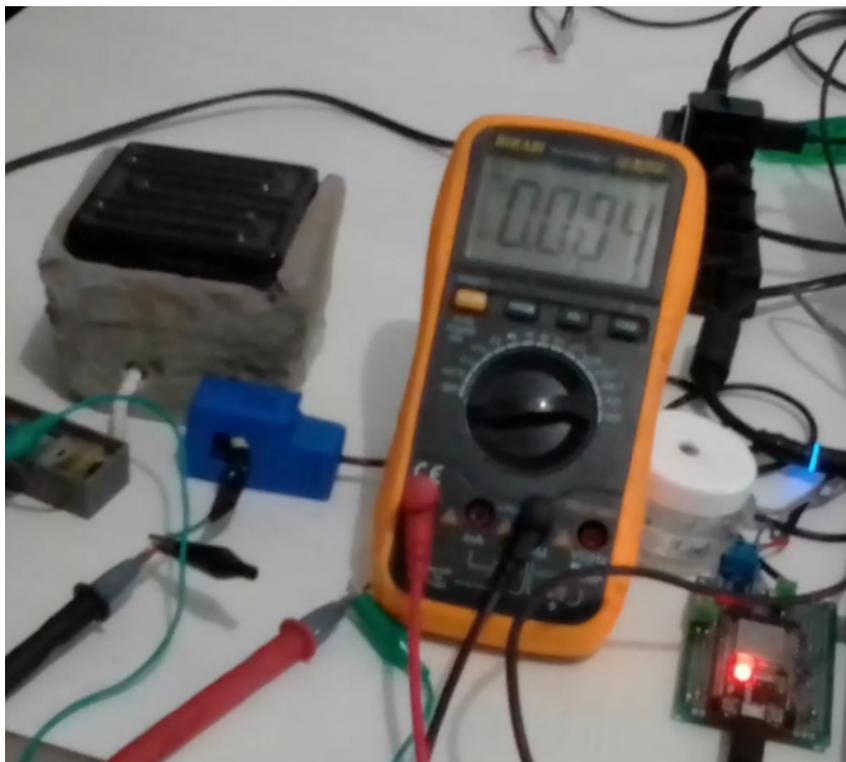
Fonte: O autor.

Após várias tentativas de resolver o problema, não se conseguiu uma solução. Então, após vários testes de bancada, verificou-se que os valores obtidos ficam perto da faixa lida pelo multímetro. O erro se encontrava na segunda casa decimal e, portanto, considerou-se baixo. Optou-se por deixar o sensor dessa forma, pois estes valores não serão utilizados para cálculo de consumo, mas apenas para a visualização, sendo suficientes para os objetivos deste trabalho.

6.2 TESTES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Para realização dos testes, montou-se o *hardware* e configuraram-se todos os *softwares*. Os testes iniciais foram realizados na bancada, utilizando-se uma resistência de potência de 400 W, que permitiu verificar a comunicação entre os dispositivos e o sistema de gerenciamento e, assim, realizar os ajustes necessários antes de se instalar o *hardware* no chuveiro. Na [Figura 25](#), temos uma medição de corrente, em que se comparam os valores obtidos pelo sensor do dispositivo, com os valores obtidos por um multímetro *true RMS*. Testes similares também foram realizados em relação à tensão.

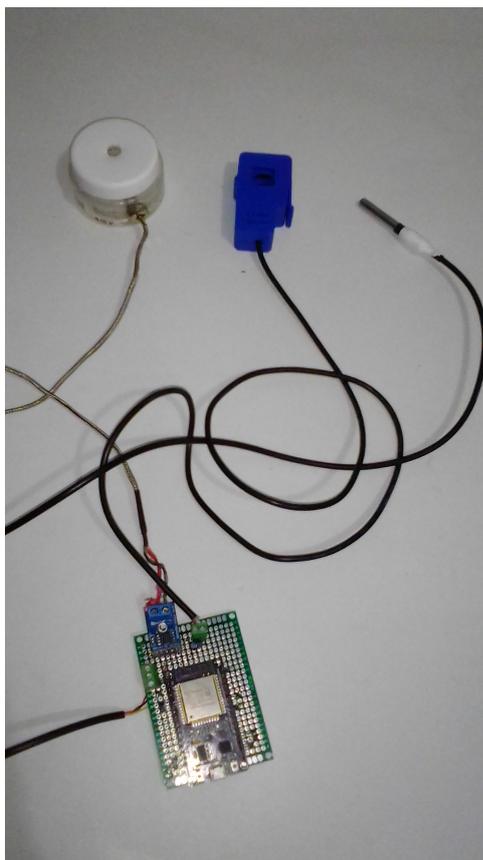
Figura 25 – Testes iniciais com uma resistência com potência de 400W.



Fonte: O autor.

Na [Figura 26](#), apresenta-se a primeira montagem do *hardware*, que permitiu realizar os testes iniciais dos sensores (corrente e temperatura), onde se testou a comunicação entre o dispositivo e os *softwares*, enviando e recebendo dados. Esta montagem ainda não continha o sistema de alimentação, que foi adicionado posteriormente. O sistema de controle também foi adicionado posteriormente, pois se optou por separar os circuitos ao se trabalhar com sistemas de alta e baixa potência.

Figura 26 – Montagem final do sistema de monitoramento e aquisição de dados.



Fonte: O autor.

Já na [Figura 27](#), tem-se o circuito da placa principal, com todos os sensores e sistema de alimentação, instalados e configurados.

Figura 27 – Montagem final do sistema de monitoramento e aquisição de dados.



Fonte: O autor.

Na [Figura 28](#), apresenta-se o protótipo instalado enviando dados para o sistema de gerenciamento *IoT*. Observa-se, que o sistema foi instalado no chuveiro convencional de chave seletora, mas sem a necessidade de modificação física do chuveiro.

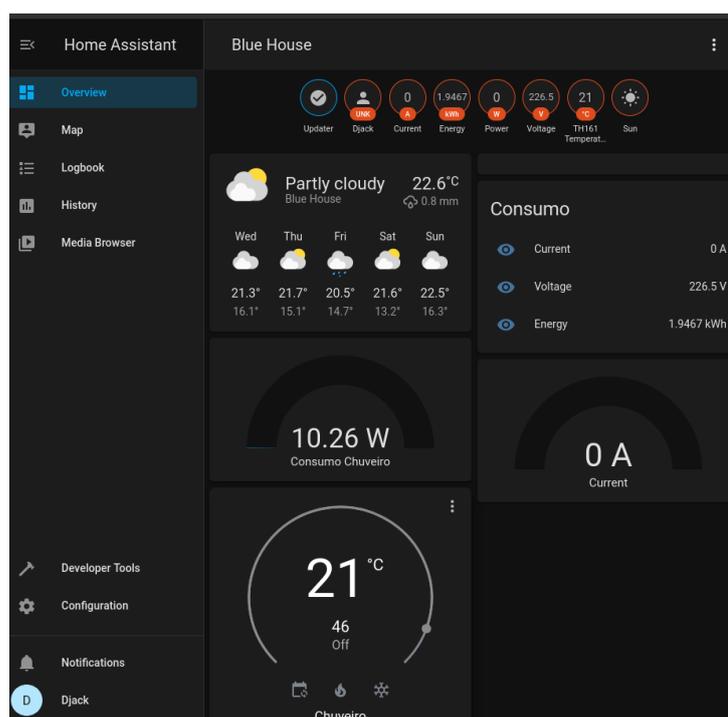
Figura 28 – Chuveiro instalado.



Fonte: O autor.

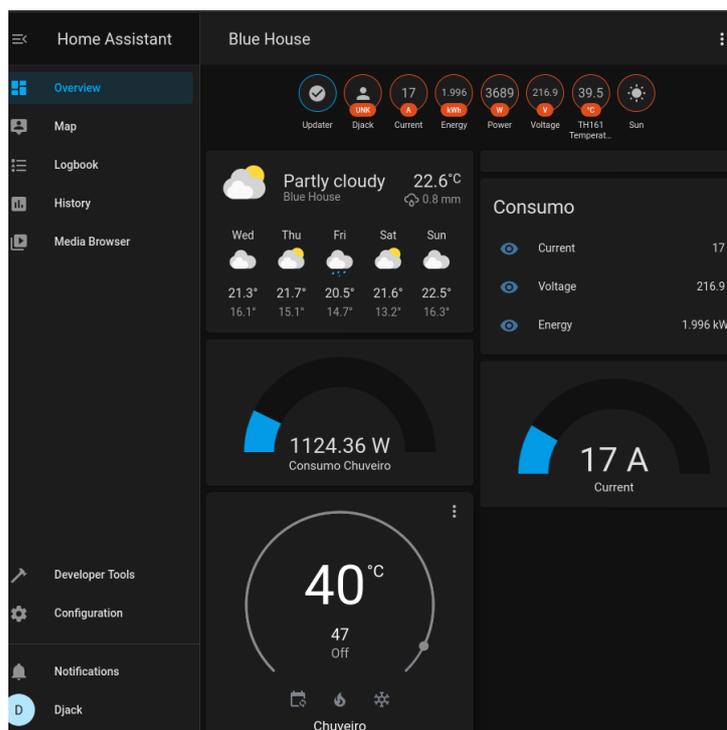
Na [Figura 29](#) e [30](#) apresentam-se os dados coletados que são exibidos para o consumidor em tempo real.

Figura 29 – Coleta de dados, chuveiro desligado.



Fonte: O autor.

Figura 30 – Coleta de dados, chuveiro ligado no nível 5.



Fonte: O autor.

6.3 COMUNICAÇÃO IOT

A comunicação do sistema acontece via *Wifi*, utilizando-se o protocolo *MQTT*. Ao ligar o *hardware*, ele estabelece uma conexão com o *boker* (*moquitto*), por meio de credenciais previamente configuradas no *boker*. O Home Assistant (sistema de gerenciamento) também se encontra cadastrado no *boker*. O Home Assistant cria uma conexão em modo de subscrição, em que o *hardware* terá que publicar as informações coletadas no chuveiro. Inicialmente, o Esp32 verifica se consegue comunicação com *boker*, enviando um "*Hello*". Caso seja possível, é iniciado o envio de dados entre o Esp32 e o Home Assistant. Em todo instante é verificado se a conexão não foi perdida. Quando chega uma informação nova na rota de subscrição do Home Assistant, esse valores são mostrados ao consumidor e enviados automaticamente para serem gravados no banco de dados. Durante a realização dos testes, identificaram-se problemas na comunicação entre o Esp32 e o *boker* e, diversas vezes, a comunicação caiu, fazendo com que o Esp32 parasse de enviar dados e, para resolver isso, era necessário reiniciar manualmente. Para contornar este problema, colocou-se um *watchdog* para verificar se o Esp32 ainda estava conectado à rede, caso contrário era realizada a conexão à rede novamente. Outro ponto observado foi que se o Esp32 passasse longos períodos ligado, enviando dados, ele travava e tinha que se fazer um *reset* manual. Então programou-se para que, depois de um certo período, o Esp32 reiniciasse automaticamente, limpando os resíduos que poderiam estar na memória. O

Home Assistant também apresentou dificuldades ao manipular alguns dados recebidos, apresentando, nos logs, diversos erros relativamente ao formato dos dados recebidos e, dependendo da casa decimal de alguns dados, ele não conseguia mostrar estes dados em tela. Na comunicação entre o Home Assistant e banco de dados (InfluxDb) não se observou nenhum tipo de problemas, ou seja, os dados foram armazenados corretamente, [Figura 31](#).

Figura 31 – Banco de dados, valores de corrente e tensão.

```

Connected to http://localhost:8086 version 1.8.2
InfluxDB shell version: 1.8.2
> use my_database
Using database my_database
> select * from V limit 5
name: V
time                domain  entity_id  friendly_name_str  value
----                -
1607356520881808896 sensor  pow1_voltage Voltage            225.6
1607356522074174976 sensor  pow1_voltage Voltage            226.3
1607356523623224064 sensor  pow1_voltage Voltage            225.2
1607356524298051072 sensor  pow1_voltage Voltage            226.3
1607356525447622912 sensor  pow1_voltage Voltage            225.2
> select * from A limit 5
name: A
time                domain  entity_id  friendly_name_str  value
----                -
1607357253667682048 sensor  current_chuv Current            0
1607357271829575168 sensor  current_chuv Current            0.08
1607357273305074944 sensor  current_chuv Current            0
1607357292735193088 sensor  current_chuv Current            0.07
1607357300953850880 sensor  current_chuv Current            0
> select * from limit 5 AC

```

Fonte: O autor.

6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante os testes realizados na bancada, os sensores de tensão obtiveram valores satisfatórios em comparação ao multímetro digital *true RMS*. Já com o sensor de corrente, obtiveram-se pequenas flutuações, quando não se tinha corrente nenhuma corrente no primário, ficando na ordem dos 1mA, que fazia com mesmo sem o chuveiro estivesse ligado, estivesse lendo um potência consumida do mesmo, mas que em comparação com o consumo do chuveiro era praticamente desprezível.

Os valores de tensão registrados pelo sensor de tensão observou-se que o mesmo se encontrava dentro dos níveis esperados pela Celesc (202 a 230 V), mas quando se instalou o sistema de monitoramento no chuveiro observou-se a obtenção de um erro, +/- 6V, em relação ao multímetro, sendo que quando multímetro marcava 220 V, o dispositivo marcava 226 V, [Figura 32](#). Esse erro é significativo, mas não havia sido identificado nos testes de bancada, pois estes eram feitos com uma carga puramente resistiva e, no chuveiro, tínhamos uma carga indutiva. Por esta razão, foi realizada a recalibração do sensor, utilizando carga indutiva.

Figura 32 – Dados coletados de banho, potência e tensão.



Fonte: O autor.

Para se alcançar a temperatura a partir do sistema de gerenciamento, utilizou o método de [Ali, Ibraheem e Mahmood \(2020\)](#) assim como para calcular a frequência, com isso, determinar o duty cycle utilizado para cortar a onda.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, nos sistemas de aquecimento de água residencial, utiliza-se majoritariamente o chuveiro elétrico. Com este trabalho, conseguiu-se adaptar um chuveiro elétrico convencional, de modo que este se conecte a uma rede *IoT*, por meio do desenvolvimento do sistema o qual permitiu obter um chuveiro inteligente.

Como parte do trabalho, desenvolveu-se um *hardware* que inclui sensores de corrente, tensão e temperatura que se conecta via *Wifi* a um sistema de gerenciamento *IoT*, permitindo que o monitoramento do consumo de energia do chuveiro conseguisse fazer a configuração do *software* do gerenciamento e armazenamento dos dados gerados pelo chuveiro.

Durante a realização do trabalho, o acadêmico, obteve-se conhecimentos que permitiram unificar duas áreas: Tecnologias de Informação e Engenharia de Energia, dado que além de aplicar conhecimentos próprios do curso buscou aplicar conhecimentos de outro campo e assim mostrar a possibilidade e benefícios do trabalho multidisciplinar.

O trabalho permitiu obter dados para um melhor entendimento dos hábitos de consumo de energia que se realiza com o chuveiro em uma residência na vida cotidiana. Com resultados alcançados e por meio dos dados armazenados, podem se realizar análises mais profundas e criar estratégias no âmbito do setor elétrico e energético referente ao consumo de energia e gestão necessária para conseguir uma demanda sustentável.

O dispositivo se adéqua às novas tendências de *Smart Homes* e *Smart City*, abrindo portas para novas integrações de sensores de uso doméstico, permitindo uma aproximação de baixo custo e fácil replicação. Os testes realizados com o dispositivo mostraram-se satisfatórios, possibilitando a coleta e armazenamento de dados que posteriormente poderão ser analisados, com o objetivo de se encontrar padrões na utilização do chuveiro.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho de final de curso, surgem possíveis espaços onde se pode aprofundar e dar continuidade aos objetivos alcançados. De acordo com isso, o trabalho futuro se concentra em duas ramificações, uma referente ao aperfeiçoamento do *hardware* e a outra relacionada à análise dos dados coletados e descoberta de padrões.

Quanto ao *hardware*, planeja-se terminar a implementação do modelo físico na parte do ajuste direto por meio do potenciômetro e a instalação de um display OLED que permita ao consumidor ter uma visualização em tempo real dos parâmetros. Adicionalmente, almeja-se a implementação de uma técnicas de controle moderno, por exemplo, PID, para reduzir o erro no tempo resposta referente ao ajuste da temperatu-

ra.

Por outro lado, na parte da análise dos dados coletados, espera-se chegar à construção de um modelo analítico, com o uso de mineração de dados, especificamente com técnicas de classificação e clustering que permita encontrar os padrões de consumo de energia, durante o processo de aquecimento da água de banho, por meio do chuveiro inteligente. Com isso, além de descobrir as relações e regras presentes nesse processo, podem-se utilizar estas descobertas na construção de estratégias para a gestão do consumo, ao qual a extração do conhecimento presente nos dados é realmente aplicada.

REFERÊNCIAS

ABINEE. **Chuveiro Econômico - ABINEE**. [S.l.: s.n.], jul. 2010. [Online; accessed 28. Dez. 2020]. Disponível em:

<<http://www.banhoeconomico.com.br/down/ci160310.pdf>>. Citado na p. 17.

ABUBAKAR, I *et al.* Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 12, p. 1076–1084, 2017. Citado na p. 37.

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, 2008. P. 219. Citado nas pp. 17, 18.

ALI, Ahmed J; IBRAHEEM, Ahmed MT; MAHMOOD, Omar Talal. Design of a smart control and protection system for three-phase generator using Arduino. **MS&E**, v. 745, n. 1, p. 012027, 2020. Citado na p. 46.

BASSO, Luiz Henrique *et al.* Utilização da energia solar em sistemas de aquecimento de água residencial. Universidade Estadual do Oeste do Parana, 2008. Citado na p. 24.

CARGUA RAMOS, Pablo Martin. **Caracterización de energia eléctrica de clientes residenciales por medio de IOT**. 2020. B.S. thesis. Citado nas pp. 37, 39.

CHAGURI JUNIOR, Jose Jorge. **Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento**. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Citado nas pp. 14, 16.

COMUNICAÇÃO, Direito. **A modernização da Rede de Distribuição de Energia Elétrica através da IoT (Internet of Things)**. [S.l.: s.n.], out. 2018. [Online; accessed 12. Nov. 2020]. Disponível em:

<<https://direitodacomunicacao.com/business/aplicacoes-de-internet-das-coisas-na-rede-de-distribuicao-de-energia-eletrica>>. Citado na p. 13.

ELETROBRAS, ELETROBRAS-Centrals Elétricas Brasileiras. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: ano-base 2005, classe residencial. **Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL**, 2007. Citado na p. 13.

ESPRESSIF, Datasheet ESP32. **On-line: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf**. [S.l.]: Accessed, 2019. Citado na p. 23.

GERMINIANI, Luiz Felipe. **Chuveiro Elétrico inteligente para a aplicação concomitante com sistemas de pré-aquecimento de água**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado nas pp. 17, 18, 21, 25, 26.

IBRAHIM, Oussama *et al.* Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. **Building and Environment**, v. 72, p. 259–286, 2014. ISSN 0360-1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.006>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313002709>>. Citado na p. 16.

INTEGRATED, Maxim. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na p. 32.

JÚNIOR, CJ de O. Controle eletrônico de potência em aquecedores elétricos de passagem por semi ciclos otimizados. **teses. usp. br**, 2006. Citado nas pp. 17, 18.

K. S., Ashiq. MQTT With PYTHON — Part 1 - Ashiq KS - Medium. **Medium**, Medium, dez. 2018. Disponível em: <<https://medium.com/@ashiqgiga07/mqtt-with-python-part-1-a38e64308c76>>. Citado na p. 23.

KIELING, R. R. **Projeto de sistemas de Aquecimento: hydrotherm**. [S.l.], 1996. Citado na p. 16.

MARIANO, Brendown Lucas Sieben; CONTIERI, Ednilson de Sousa. **Eficiência Energética: Monitoramento de utilização do chuveiro elétrico**. [S.l.: s.n.], 2015. Citado nas pp. 14, 24.

MONITOR, Open Energy. **A project to develop and build open source energy monitoring and analysis tools**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<https://openenergymonitor.org>>. Citado nas pp. 24, 25, 34.

PANDOLFO, Carlos Rodrigo. **Projeto de Ducha Eletrônica: Facilitando a troca da Resistência elétrica**. 2016. Diss. (Mestrado) – Centro Universitário Univates. Citado nas pp. 19–21.

PILATTI, Lauro Antônio Drehmer. **Controle da Temperatura e Vazão de um Chuveiro Usando Lógica Fuzzy**. [S.l.], 2012. Citado na p. 19.

PINHEIRO, Paulo César da Costa. Análise comparativa dos sistemas de aquecimento água residencial, 2006. Citado nas pp. 13, 19.

SANGOI, Juliana May. Análise comparativa do desempenho de sistemas de aquecimento de água em edificações residenciais, 2015. Citado nas pp. 13, 16, 17, 19.

SANTOS, Bruno P *et al.* Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 31, 2016. Citado nas pp. 13, 22.

SILVA, Edmar *et al.* A SMART METER DESIGNED TO REDUCE WASTE OF ENERGY. *In:* citado na p. 14.