

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANGELA BEATRIZ DA SILVA
THIAGO PACHECO LOPES OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONJUGADO DE CHUVEIRO ELÉTRICO
E ÁGUA QUENTE DE UM RESERVATÓRIO PARA O BANHO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2018**

ANGELA BEATRIZ DA SILVA
THIAGO PACHECO LOPES OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONJUGADO DE CHUVEIRO ELÉTRICO
E ÁGUA QUENTE DE UM RESERVATÓRIO PARA O BANHO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica - DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Marcio Tadayuki Nakaura

PATO BRANCO

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONJUGADO DE CHUVEIRO ELÉTRICO E ÁGUA QUENTE DE UM RESERVATÓRIO PARA O BANHO

ANGELA BEATRIZ DA SILVA
THIAGO PACHECO LOPES OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 21/11/2018 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro(a) Mecânico(a), do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Profa. Dra. Geocris Rodrigues dos Santos
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)

Prof. Me. Maurício Pegoraro
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)

Prof. Marcio Tadayuki Nakaura
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

A todas as mulheres que passaram por esta etapa, e à todas que passarão por aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua graça.

A nossa família pelo apoio e suporte.

Ao nosso orientador Marcio Nakaura pela disposição e paciência em nos auxiliar no desenvolvimento deste estudo.

Aos amigos que nos acompanharam ao longo da graduação e em especial ao Lucas Bauermman pelo companheirismo e disponibilidade.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná que tornou este momento possível.

*“Escritores, meditem muito e corrijam pouco. Fazei
as vossas rasuras no vosso próprio cérebro.”
(Victor Hugo, 1802-1886)*

RESUMO

SILVA, Angela Beatriz; OLIVEIRA, Thiago Pacheco Lopes. Desenvolvimento de um sistema conjugado de chuveiro elétrico e água quente de um reservatório para o banho. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

Nas residências que utilizam água quente, proveniente do sistema de aquecimento solar para o banho usando ducha, é comum descartar toda a água fria da tubulação até a chegada da água quente do reservatório. São desperdiçados aproximadamente 7 500 litros de água por ano, considerando uma família de quatro pessoas e um banho por pessoa, ao dia. Este trabalho apresenta uma solução para aproveitar a água fria do encanamento e controlar a temperatura de banho de forma automática utilizando um sistema conjugado de chuveiro elétrico e água quente provido de um reservatório. A automação faz o uso de um sistema simples constituído por uma unidade controladora (arduino), sensores e atuadores, que reduz significativamente o desperdício de água, com acionamento do aquecimento elétrico quando necessário e apresentando um erro de 7,13% em relação a temperatura requerida.

Palavras-chave: Chuveiro Conjugado, Temperatura da Água de Banho, Controle de Temperatura da Água, Arduino, Sistema de Automação.

ABSTRACT

SILVA, Angela Beatriz; OLIVEIRA, Thiago Pacheco Lopes. Development of a combined system for the bath from both electric shower and hot water from a reservoir. 2018. 83 f. Undergraduate Thesis – Mechanical Engineering Course, Federal University of Technology - Parana. Pato Branco, 2018.

In residences which use hot water from the solar heating system to the bath using a shower, it is common to discard the whole cold water from the duct until the hot water from the tank arrives. Approximately 7 500 liters of water per year is wasted, considering a family of four and a bath per person per day. This work presents a solution to take advantage of the cold water of the pipe and to control the temperature of the bath of an automatic form of a combined system for the bath from both electric shower and hot water from a reservoir. The automation uses a simple system consisting of a controller unit (arduino), sensors, and actuators, which significantly reduces water waste. The electrical shower is used when necessary, presenting an error of 7.13% of the required temperature.

Keywords: Combined Shower, Water Temperature for the Bath, Water Temperature Control, Arduino, Automation System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Percentual de participação dos pontos de utilização no consumo diário médio	23
Figura 2 – Sistema híbrido de aquecimento de água	25
Figura 3 – Esquema de um sistema híbrido automatizado	26
Figura 4 – Sistema híbrido automático	27
Figura 5 – Esquema de um sistema de automatização com uso da lógica <i>fuzzy</i>	27
Figura 6 – Funções de pertinência usuais	28
Figura 7 – Estrutura controlador <i>fuzzy</i>	29
Figura 8 – Válvula misturadora	31
Figura 9 – Acionamento e controle de uma válvula misturadora monocomando	32
Figura 10 – Registros de controle da temperatura - sistema bicomando	32
Figura 11 – Válvula globo - detalhes do bloqueio e passagem do fluido	33
Figura 12 – Chuveiro elétrico comum	34
Figura 13 – Pressurizador para chuveiro	35
Figura 14 – Chuveiro digital	36
Figura 15 – Aspectos construtivos de um termopar	38
Figura 16 – Termistores	38
Figura 17 – Motor de passo (à esquerda) e servomotor (à direita)	39
Figura 18 – Diagrama demonstrativo de funcionamento do meio passo	40
Figura 19 – Interior do servomotor	40
Figura 20 – Controle do servomotor por PWM	41
Figura 21 – Fluxograma do sistema manual de ajuste de temperatura da água	44
Figura 22 – Hierarquia de tarefas	45
Figura 23 – Fluxograma do sistema como proposto	46
Figura 24 – Diagrama hidráulico da proposta com monocomando	48
Figura 25 – Esquema de acionamento do resistor por relé	49
Figura 26 – Super Ducha Quatro - FAME	51
Figura 27 – Arduino Mega 2560	52
Figura 28 – Relé SSR 4840 - Novus	52
Figura 29 – Arduino LCD Keypad Shield (SKU: DFR0009)	53
Figura 30 – Sensor de temperatura DS18B20	53
Figura 31 – Micro servomotor PDI Jx 5521 mg 20 kg	54
Figura 32 – Fluxograma de acionamento do sistema com e sem energia elétrica	55
Figura 33 – Fluxograma de funcionamento do sistema	55
Figura 34 – Válvula misturadora	56
Figura 35 – Função do arduino	59
Figura 36 – Funções desdobradas do arduino	60

Figura 37 – Modelagem ilustrativa do protótipo	61
Figura 38 – Montagem primária, sistema hidráulico	62
Figura 39 – Montagem instrumentada com sistema eletrônico	63
Figura 40 – Disposição dos equipamentos de controle no suporte de MDF	63
Figura 41 – Sensor de temperatura posicionado na saída do chuveirinho	64
Figura 42 – Montagem para testes do protótipo	64
Figura 43 – Acionamento da resistência elétrica por meio do relé	65
Figura 44 – Diagrama Elétrico do Sistema	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo dos componentes da bancada do sistema - Com base no Banco Central do Brasil, BCB (2018) em 18/10/2018, US\$1,00 igual a R\$3,6957	83
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVR	Agência Nacional de Águas
ARM	<i>Advanced Risc Machines</i>
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reúso da Água
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i> (Controlador Integrado de Periféricos)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso)
RISC	<i>Reduced Instructions Set Computer</i> (Conjunto Reduzido de Instruções de Computador)
PVC	Cloreto de Polivinila
CPVC	Cloreto de Polivinila Clorado
RAM	<i>Random Access Memory</i> , memória de acesso aleatório
ROM	<i>Read Only Memory</i> , memória somente de leitura
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> , coeficiente negativo de temperatura
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i> , coeficiente positivo de temperatura
VAQ	Válvula de água quente
VAF	Válvula de água fria
AQ	Água quente
AF	Água fria
VM	Válvula manual
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> , tela de cristal líquido
SSR	<i>Solid State Relay</i> , relé de estado sólido
RG1	Registro globo 1
RG2	Registro globo 2
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , diodo emissor de luz
ST1	Sensor de temperatura 1, localizado na tubulação de água quente

ST2	Sensor de temperatura 2, localizado na tubulação de água fria
ST3	Sensor de temperatura 3, localizado após a resistência
V.C.	Volume de controle
F	Fase
VCC	Alimentação de tensão em corrente contínua
GND	<i>Ground</i> Referência elétrica
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i> , placa de fibra de média densidade

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Temperatura
T_R	Temperatura requerida
T_q	Temperatura da água quente
T_f	Temperatura da água fria
T_b	Temperatura de trabalho da água
T_∞	Temperatura ambiente
\dot{Q}	Taxa de transferência de calor
\dot{m}_q	Vazão mássica de água quente
\dot{m}_f	Vazão mássica de água fria
\dot{m}_b	Vazão mássica da água de banho
$\Delta \dot{E}$	Varição de taxa de energia
$\dot{E}_{entrada}$	Taxa de energia de entrada
$\dot{E}_{saída}$	Taxa de energia de saída
\dot{W}	Taxa de trabalho
H	Entalpia
h	Entalpia específica
$h_{entrada}$	Entalpia específica de entrada
$h_{saída}$	Entalpia específica de saída
h_q	Entalpia específica da água quente
h_f	Entalpia específica da água fria
h_b	Entalpia específica da água de banho
p	Pressão
V	Volume
v	Volume específico
U	Energia interna

u Energia interna específica

$FracAQ$ Fração de água quente

$\%E$ Erro percentual

SUMÁRIO

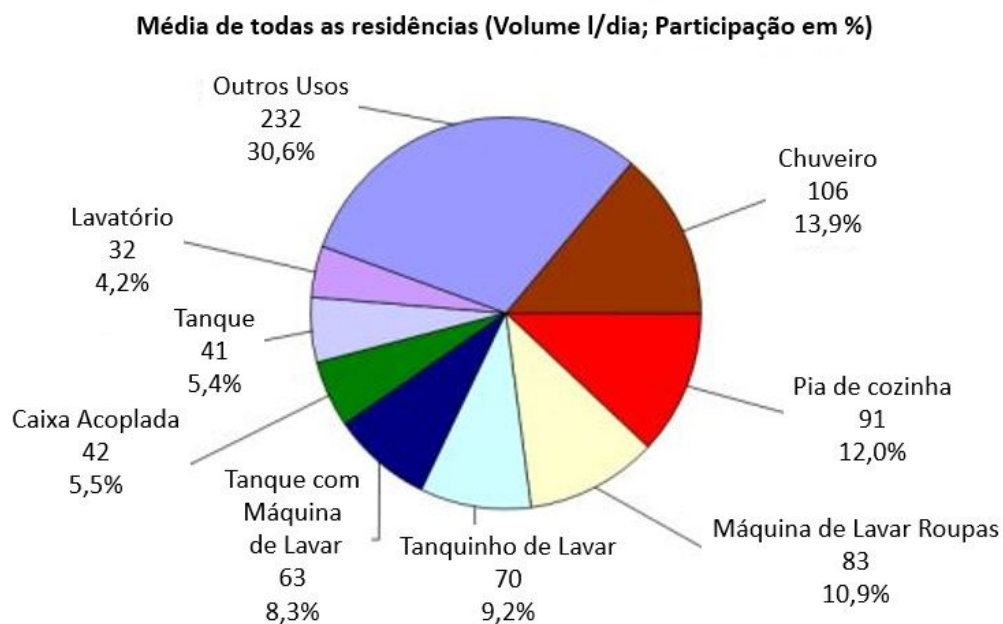
1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivos	24
1.1.1	Objetivo geral	24
1.1.2	Objetivos específicos	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Automatização de sistemas híbridos e afins	25
2.2	Equipamentos hidráulicos	29
2.2.1	Tubulação	30
2.2.2	Válvulas	31
2.2.3	Chuveiro	33
2.3	Aparatos Eletrônicos	35
2.3.1	Unidades de Controle	36
2.3.2	Sensor de Temperatura	37
2.3.3	Atuadores	38
3	METODOLOGIA	43
4	DESENVOLVIMENTO	47
4.1	Síntese	47
4.2	Sistema Proposto	50
4.2.1	Descrição dos Equipamentos	50
4.2.2	Operação do Sistema	54
4.3	Balanco de Massa e Energia	56
4.4	Rotina Computacional	59
4.5	Montagem do Protótipo	60
4.6	Testes do Sistema	62
5	RESULTADOS E CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICES	71
	APÊNDICE A – DIAGRAMAS DE MONTAGEM	73
	APÊNDICE B – ESTRUTURAÇÃO DA ROTINA COMPUTACIONAL	75
	APÊNDICE C – TABELAS INFORMATIVAS	83

1 INTRODUÇÃO

O chuveiro elétrico é o principal dispositivo utilizado para o aquecimento da água para o banho. Poderia-se obter uma economia de energia elétrica com a substituição do chuveiro elétrico por sistemas de aquecimento de água a gás ou utilizando coletores solares.

Além da energia elétrica, outra questão é a água utilizada para o banho. A responsabilidade ambiental é colocada em xeque quando se busca o conforto de um banho, já que o consumo de água tratada é significativo. Barreto (2008) em sua pesquisa sobre o perfil de consumo residencial nos usos finais da água, mostra que o maior responsável pelo consumo residencial é o do chuveiro com 13,9% seguido de outros pontos de participação do gasto, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Percentual de participação dos pontos de utilização no consumo diário médio



Fonte: Barreto (2008).

Nas residências que utilizam reservatórios de água quente, proveniente do sistema de aquecimento solar, para o uso no banho (chuveiro), é comum descartar toda a água fria da tubulação até a chegada da água quente do reservatório. Segundo a CIRRA, Centro Internacional de Referência em Reúso da água (2009), são desperdiçados 20,8 litros de água por dia (ou 7 488 L/ano) para que a água atinja a temperatura ideal para banho; considerando uma família de quatro pessoas e um banho diário por pessoa.

Existe a possibilidade de utilizar chuveiro elétrico conjugado com reservatório de água quente. Porém, neste sistema combinado, a resistência elétrica do chuveiro permanece ligada durante todo tempo do banho, sendo que a temperatura da água é controlada pela vazão de água fria.

Atualmente existem chuveiros híbridos com “sistema *flex*”, ou seja, sistema que utiliza água quente proveniente da energia elétrica, do aquecedor a gás ou a energia solar no mesmo dispositivo. Este tipo de chuveiro possui pequena representatividade no mercado, ele atua com um sensor de temperatura que identifica a chegada da água quente no chuveiro, do sistema de aquecimento solar ou a gás, e realiza o desligamento automático da resistência elétrica do chuveiro.

Os autores deste trabalho não encontraram nenhum chuveiro que aproveite a água fria do encanamento e regule a temperatura desejada da água de banho de forma automática. Neste contexto, desenvolver um sistema que realize tal tarefa é um desafio que envolve engenharia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Por meio deste trabalho, busca-se uma nova solução para aproveitar a água fria do encanamento e controlar a temperatura de banho de forma automática. Desenvolvendo um sistema conjugado de chuveiro elétrico e água quente de um reservatório, proveniente de um sistema de aquecimento solar.

1.1.2 Objetivos específicos

Assim, para cumprir o objetivo geral, é necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- Identificar equipamentos, dispositivos e acessórios que serão utilizados no projeto do sistema;
- Estudar a viabilidade de utilizar arduino para controle do sistema;
- Desenvolvimento do fluxograma de controle do sistema;
- Desenvolvimento do circuito elétrico do sistema;
- Montagem de uma bancada experimental do sistema.

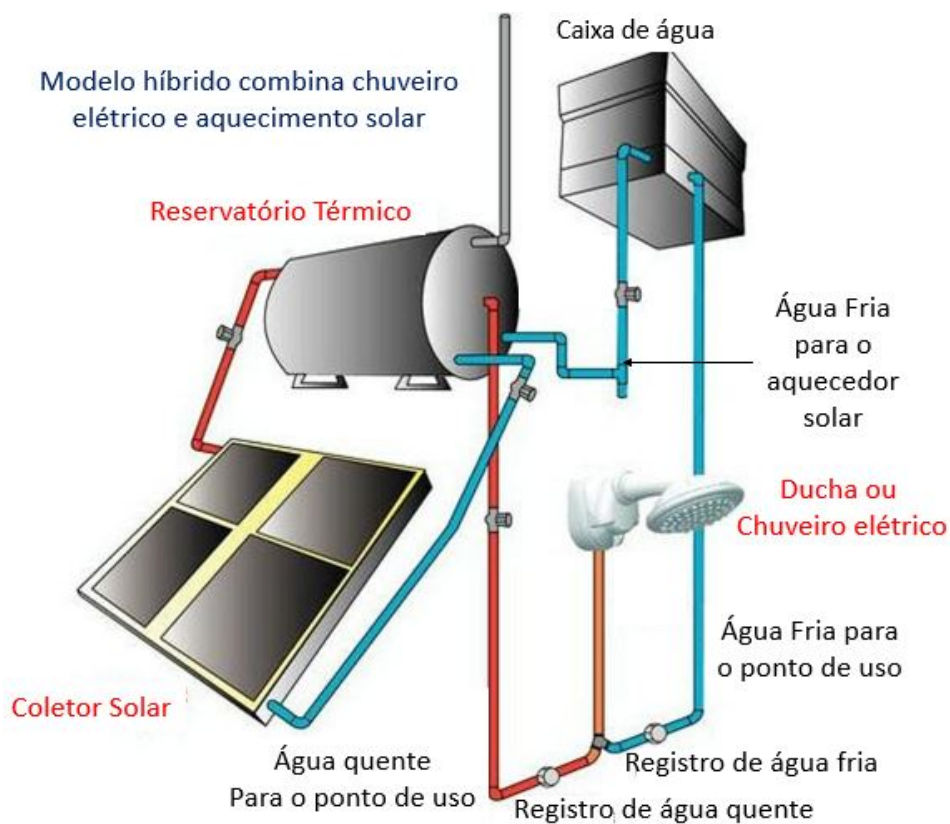
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção é abordado o uso de tecnologias que visam a automatização da temperatura do chuveiro, como também uma pesquisa na busca de equipamento e dispositivos que podem vir a ser aplicados no sistema.

2.1 Automatização de sistemas híbridos e afins

O controle da mistura de água quente/fria é comumente realizado por um sistema que envolve duas válvulas manuais para o comando dos fluxos quando envolve água quente proveniente de um reservatório (ou uma central de aquecimento de água) e água fria conforme ilustra a Figura 2 de HABITISSIMO (2018). Em decorrência ao desperdício de água e energia somados ao desejo do conforto térmico do usuário ao utilizar o chuveiro para o banho, destaca-se o desenvolvimento de estudos que auxiliam o controle da temperatura.

Figura 2: Sistema híbrido de aquecimento de água

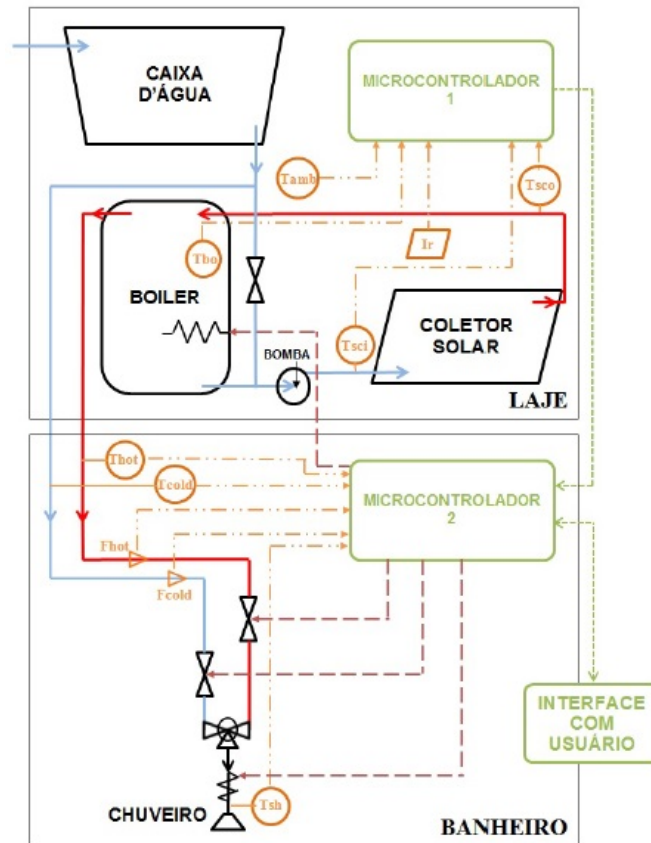


Fonte: HABITISSIMO (2018).

Pasetti (2014) em sua dissertação de mestrado, desenvolveu uma unidade de aquecimento solar da água para banho em conjunto com um sistema de controle da

temperatura. A Figura 3 mostra o sistema.

Figura 3: Esquema de um sistema híbrido automatizado



Fonte: Pasetti (2014).

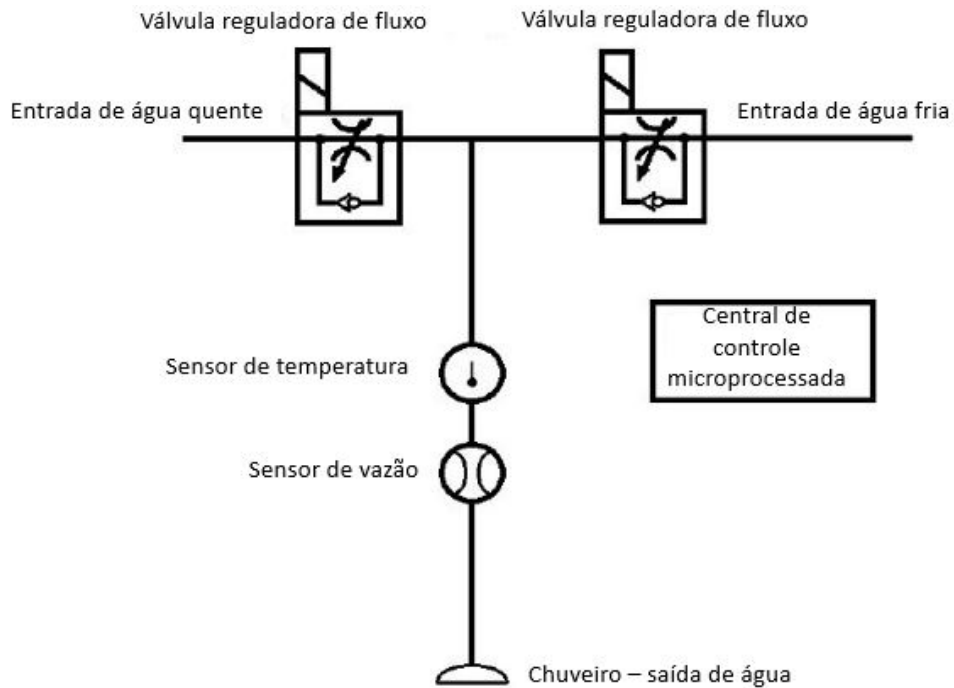
O sistema de Pasetti (2014) faz a mistura de água quente e fria por meio de duas eletroválvulas e, quando necessário, a resistência do chuveiro é acionada para aquecer a água do banho. Todavia, nesse sistema a resistência do chuveiro não tem potência suficiente para atingir a temperatura do banho definida pelo usuário, então a resistência do *boiler* é ligada previamente, afim de garantir maior conforto ao usuário durante o banho.

Por outro lado, Souza (2012) desenvolveu um sistema que reduz o tempo de banho, proporcionando maior economia de água. A automação deste sistema trabalha com controle da vazão e temperatura, utilizando válvulas proporcionais, sensores de fluxo e de temperatura. Souza (2012) também destaca que ao final do banho o sistema informará os dados de gastos, como o tempo e o volume de água, o que permite ao usuário verificar o seu perfil de consumo. A Figura 4 mostra o sistema.

Pilatti (2012), desenvolveu um sistema, onde a escolha da vazão e da temperatura podem ser realizadas com o uso de controle remoto. O sistema utiliza um controlador *fuzzy* para o controle da temperatura e da vazão da água do chuveiro elétrico, que conta com sistema auxiliar de aquecimento. Pilatti (2012) ressalta que o maior desafio é

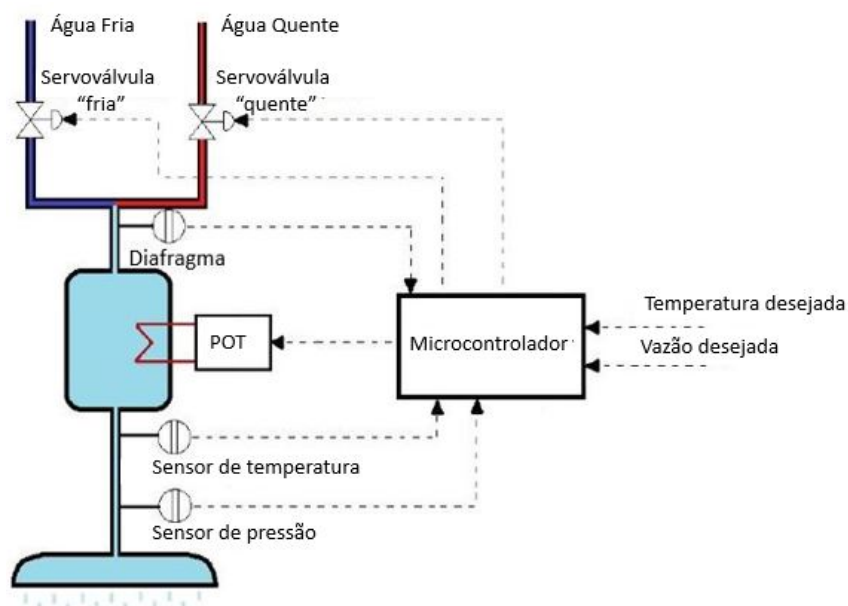
desenvolver um sistema que misture as águas que vêm com temperaturas e pressões diferentes, para atingir as condições desejadas para o banho. A Figura 5 mostra o sistema utilizando a lógica *fuzzy*.

Figura 4: Sistema híbrido automático



Fonte: Souza (2012).

Figura 5: Esquema de um sistema de automatização com uso da lógica *fuzzy*



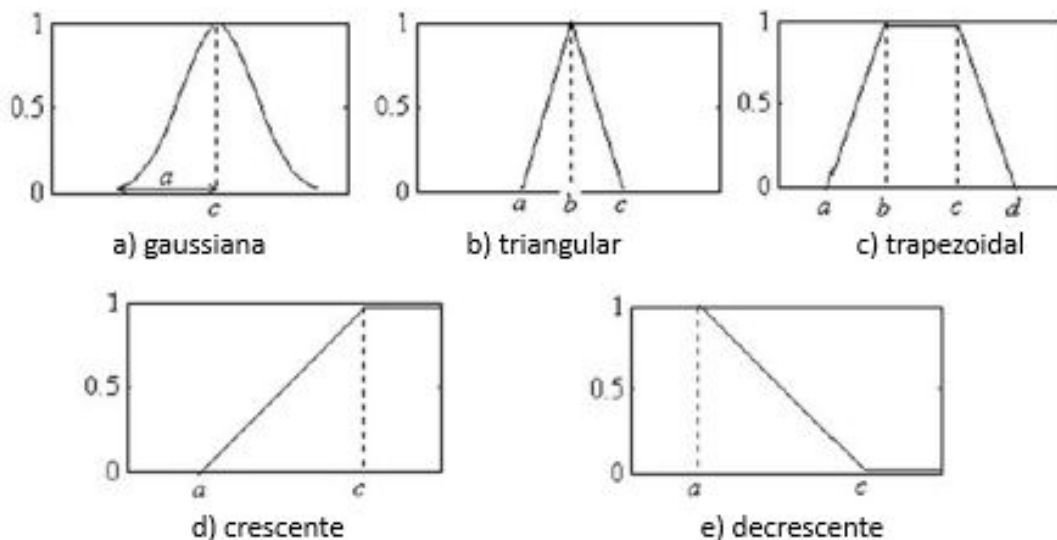
Fonte: Pilatti (2012).

Como descrito por Pilatti (2012), a lógica *fuzzy* é também vista como lógica nebulosa pois é diferente da proposição clássica em absolutos, “Verdadeiro” e “Falso”. Ela varia neste aspecto permitindo o trabalho com informações mais vagas e tem por outras características a facilidade de modificação e controle de sistemas não lineares, sendo uma opção rápida, barata e de fácil implementação em microprocessadores.

A lógica trabalha com um conjunto de pares ordenados que relacionam entradas em um conjunto suporte a valores em um conjunto *fuzzy* por meio das chamadas funções de pertinência. Normalmente estas tomam uma das seguintes cinco formas apresentadas na Figura 6. A lógica *fuzzy* trabalha com variáveis linguísticas que nada mais são do que nomes de conjuntos *fuzzy*. Estes podem ser elementos de operações como:

- União: dada pelo conjunto dos maiores valores de pertinência em cada ponto;
- Interseção: dada pelo conjunto dos menores valores de pertinência de cada ponto.

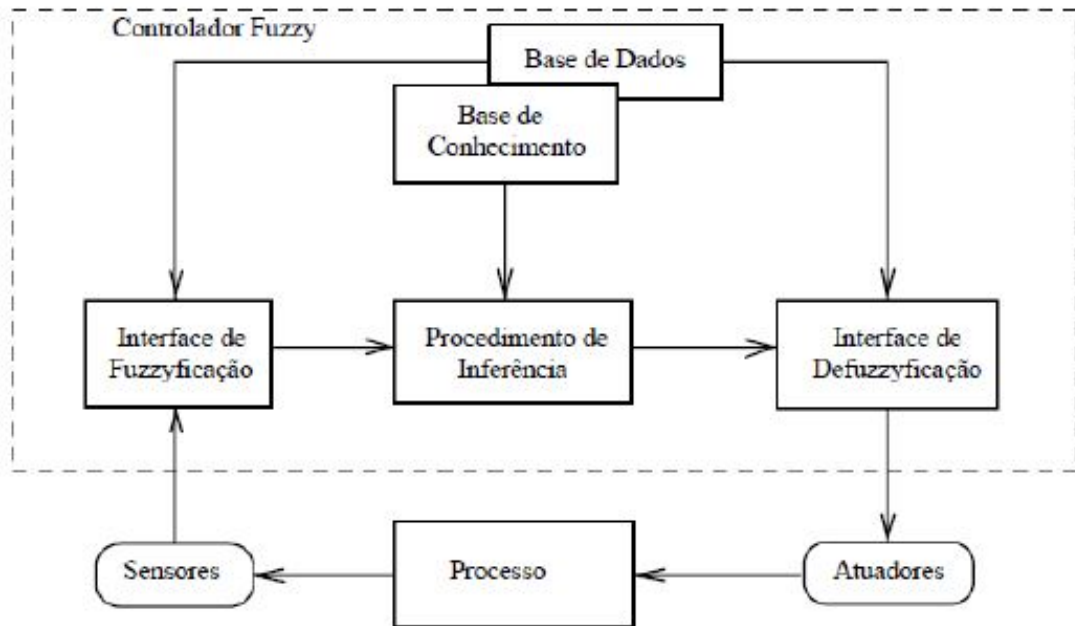
Figura 6: Funções de pertinência usuais



Fonte: Pilatti (2012).

Segundo Pilatti (2012), o desenvolvimento de um sistema de controle *fuzzy* é essencialmente construir regras de decisões com base no conhecimento do problema, que torna o sistema mais confiável, tomando decisões mais precisas de acordo com o problema encontrado. A Figura 7 esquematiza o sistema de controle.

Em resumo, variáveis de entrada são obtidas por meio de sensores, convertidas em variáveis nebulosas usando as funções de pertinência, em seguida passam por um processo de regras do tipo: SE <antecedente>, ENTÃO <consequência>.

Figura 7: Estrutura controlador *fuzzy*

Fonte: Pilatti (2012).

A lógica *fuzzy* utiliza o método de Takagi-Sugeno em seu desdobramento, o qual caracteriza-se como um conjunto de regras que associa uma ou mais entradas (antecedentes) com polinômios que geram as respostas na formas de saídas (consequências) e permite ao projetista considerar as não-linearidades da planta ao projeto do sistema de controle (ANDREA et al., 2008).

No estudo desenvolvido por Pilatti o método Takagi-Sugeno foi utilizado, onde fica evidente que o número de regras é o produto do número de termos difusos das variáveis de entrada para que cubram todas as combinações. Por exemplo, 3 variáveis de entrada cada uma com 3 termos: $3 \times 3 \times 3 = 27$ regras de controle. Os valores consequência são defuzzyficados e comandos emitidos aos atuadores.

2.2 Equipamentos hidráulicos

A instalação hidráulica de uma residência, consiste de reservatório de água, tubulações, conexões, válvulas e, com ênfase neste trabalho, o chuveiro. Nesta etapa de estudo é elucidado uma pesquisa sobre válvulas e chuveiros que podem ser aplicados no desenvolvimento do sistema em questão.

2.2.1 Tubulação

Dentre os elementos mais básicos de uma instalação hidráulica destaca-se a tubulação, a qual é composta por: conjuntos de dutos, conexões, tubos, registros entre outros, os quais, são interligados entre si para proporcionar o transporte e distribuição de fluidos. Apesar de básica, a tubulação deve ter seus componentes selecionados com atenção, para melhor atender as necessidades do projeto. Segundo Ribeiro (2018), os fatores de decisão na seleção de materiais são:

- Fluido conduzido;
- Condições de serviço;
- Nível de tensões;
- Natureza dos esforços;
- Disponibilidade;
- Sistema de ligações;
- Custo;
- Segurança;
- Facilidade de fabricação e montagem;
- Experiência prévia;
- Tempo de vida.

Os materiais variam de metálicos ferrosos e não-ferrosos, plásticos e cerâmicos. Os encanamentos de água fria são popularmente feitos de cloreto de polivinila (PVC) devido ao baixo peso, resistência à corrosão, coeficiente de atrito baixo, facilidade de fabricação e manuseio, baixa condutividade térmica e elétrica e sua cor própria e permanente. Segundo a C-THERM, Technologies (2018), fabricante de produtos para aplicações na área térmica, tubulações de PVC não seriam a melhor opção para aplicação em encanamentos de água fria, pois é um termoplástico de ponto de transição vítrea baixo. Neste caso, um material mais adequado é o cloreto de polivinilo clorado (CPVC) que é derivado do PVC, porém apresenta maior ductilidade, maior resistência térmica, a compressão e a corrosão.

2.2.2 Válvulas

De acordo com Acosta (2009), as válvulas podem realizar uma obstrução total ou parcial no fluxo de fluido em uma tubulação, esta obstrução pode ser realizada por meio de acionamento manual (com uso de volante, parafusos ou engrenagens), motorizado (quando a força motriz é externa: hidráulica, pneumática ou elétrica) ou automático (quando o próprio fluido provoca a obstrução).

Acosta (2009) diz ainda que as válvulas manuais são utilizadas para realizar a redução ou o impedimento da passagem de fluido em determinada tubulação, seu uso é comum nas indústrias e nas residências. A classificação das válvulas manuais leva em consideração seu projeto e sua aplicação. Estas também podem ser utilizadas no controle da vazão de água para banho. No caso de mistura de água quente/fria, este controle pode ser realizado por uma válvula (monocomando) ou duas válvulas (bicomando).

Figura 8: Válvula misturadora



Fonte: Acosta (2009).

A Figura 8 ilustra o funcionamento de uma válvula misturadora, onde há entrada de água fria e de água quente, com uma única saída de mistura. A Figura 9 ilustra o acionamento e o controle de uma válvula misturadora monocomando, onde o levantamento da alavanca permite a passagem de fluido, enquanto o movimento angular da manopla possibilita o controle das proporções de mistura.

O sistema bicomando utiliza duas válvulas com controle de vazão para realizar a mistura, a Figura 10 ilustra um sistema bicomando, com o posicionamento de uma válvula na tubulação de água quente e outra na de água fria. Uma temperatura mais alta da mistura pode ser obtida aumentando a vazão de água quente e reduzindo a vazão de água fria.

Figura 9: Acionamento e controle de uma válvula misturadora monocomando



Fonte: IDRAL (2018).

Figura 10: Registros de controle da temperatura - sistema bicomando

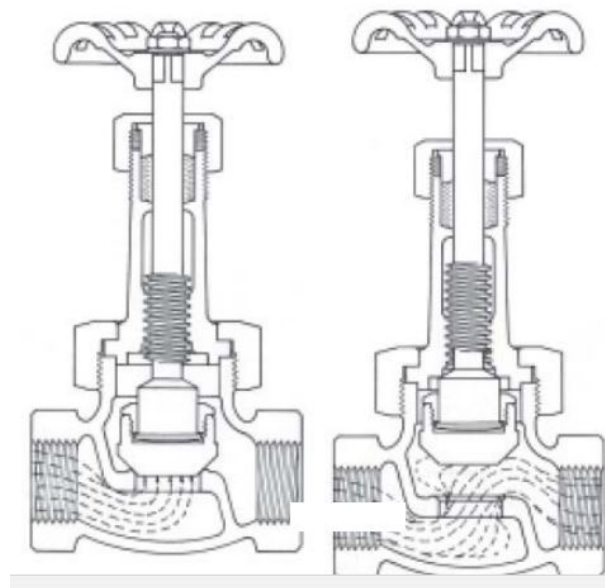


Fonte: Urbano (2012).

As válvulas utilizadas nos sistemas bicomando pra realizar o controle da temperatura, podem ser registros simples, desde que permitam o controle de vazão, como é o caso dos registros globo, os quais são populares no controle de fluido em instalações residenciais. O registro globo possui formato globular, acionador tipo volante e deslocamento linear da haste decorrente na manipulação do volante que é diretamente proporcional a abertura da válvula. A Figura 11 mostra detalhe interno de passagem e bloqueio de fluido em uma válvula globo.

As válvulas globo são utilizadas para diversas aplicações, visto que sua flexibilidade de uso é decorrente da variabilidade de materiais que podem ser utilizados em sua fabricação, fator este que reflete diretamente no custo do equipamento e que possibilita maior durabilidade de acordo com a aplicação.

Figura 11: Válvula globo - detalhes do bloqueio e passagem do fluido



Fonte: Acosta (2009).

2.2.3 Chuveiro

Pilatti (2012) destaca que dentre os principais aspectos considerados no momento da compra de um chuveiro está o conforto no banho e o baixo consumo de energia elétrica. O chuveiro elétrico é o adereço mais popular quando se trata de aparato para o banho, porém nem sempre proporciona a comodidade desejada, onde a regulagem da vazão de água é um fator relevante no momento do ajuste térmico. A busca por dispositivos que proporcionem conforto e economia de energia, que seguidos do apelo ecológico, leva o uso de sistemas alternativos de aquecimento solar da água para banho.

No mercado estão disponíveis inúmeros tipos de chuveiros, destacando-se: chuveiro elétrico comum, chuveiro eletrônico, chuveiro com pressurizador, chuveiro híbrido, e chuveiro digital.

Segundo Montu (2016) o chuveiro elétrico é o tipo de aquecedor de água mais utilizado no Brasil, com ênfase nas residências. O chuveiro elétrico apresenta maior facilidade de instalação e menor custo de aquisição em relação aos demais equipamentos destinados ao mesmo fim. Embora o investimento inicial seja baixo, nem sempre apresentará baixo consumo de energia, o que depende da potência consumida para aquecer a água.

O chuveiro elétrico mais simples é o modelo que apresenta três opções de temperatura: morno, quente e frio (verão/inverno/desliga), vide Figura 12. Para ajustar a temperatura, é necessário que não haja passagem de água no chuveiro. Este tipo de chuveiro é dotado de: diafragma, câmara quente, resistência elétrica (resistor),

espalhador.

Figura 12: Chuveiro elétrico comum



Fonte: LORENZETTI (2018).

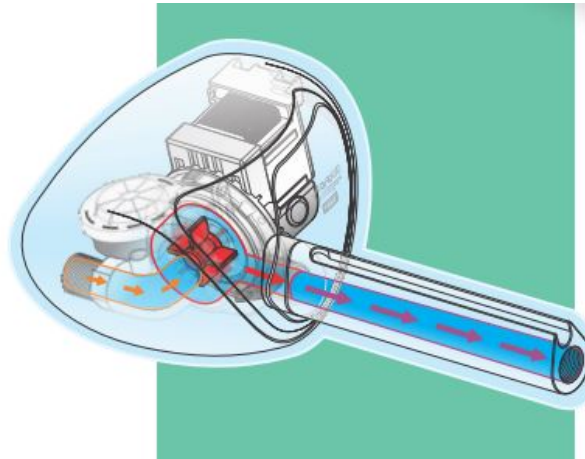
Em um chuveiro elétrico, o diafragma fecha os contatos que permite a passagem da corrente elétrica para o resistor. O acionamento do diafragma é decorrente da pressão da água no chuveiro e impede que a resistência elétrica mantenha-se ligada quando não há vazão de água, evitando a queima da resistência. A câmara quente é o espaço onde é armazenada a água para acionar o diafragma e onde ocorre o aquecimento da água. Na física, a resistência elétrica é conhecida como a capacidade resistiva que determinado material possui para a passagem de corrente elétrica, enquanto o resistor é o dispositivo que usufrui desta propriedade do material com o intuito de transformar a energia elétrica em energia térmica. O resistor fica localizado dentro da câmara quente e é popularmente conhecido como resistência.

Já o chuveiro eletrônico, é um modelo que vem ganhando espaço no mercado devido a sua versatilidade. Embora também necessite de energia proveniente da rede elétrica, ele permite regular a temperatura de forma gradual, sem precisar desligar (passagem de água), apresentando uma faixa de temperatura maior. O aquecimento gradual da água ocorre manualmente por meio de um potenciômetro que controla a passagem de corrente elétrica pela resistência, realizando assim o controle de temperatura da água. No caso de potenciômetros lineares, a resistência varia linearmente com o ângulo de giro do cursor.

Outro tipo é o chuveiro com pressurizador, que foi desenvolvido para aplicação em casas que possuem o reservatório de água muito baixo, o que resulta numa baixa pressão da água. Este tipo de equipamento foi desenvolvido para elevar a pressão de água proporcionando maior conforto na hora do banho, o mesmo possui pressurizador que irá elevar a vazão da água do chuveiro.

A Figura 13 ilustra a pressurização do fluido para o chuveiro. Todavia, este tipo de chuveiro provoca maior consumo de água e energia que os chuveiros comuns. Chuveiros eletrônicos pressurizados são uma alternativa quando há maior interesse no controle de temperatura em conjunto com o ajuste de vazão.

Figura 13: Pressurizador para chuveiro



Fonte: FAME (2018).

O chuveiro tipo híbrido permite elevada economia no consumo de energia, quando o mesmo possui opção *flex* e esta é ativada. Ele funciona como um chuveiro elétrico comum, porém quando a água atinge a temperatura ideal o sistema desativa a resistência elétrica mantendo a água aquecida proveniente de outras fontes, como energia solar e gás. Foi mostrada na Figura 2 um sistema híbrido. Neste tipo de chuveiro, o controle da mistura da água proveniente de aquecimento alternativo é realizado de forma manual.

Tem-se também o chuveiro digital (Figura 14), que permite o controle preciso da intensidade de temperatura desejada. O ajuste da temperatura é feito com o chuveiro ligado por cerca de um minuto, utilizando um controle remoto. Pode ocorrer também o acionamento da função "turbo". Esse tipo de chuveiro salva a última configuração utilizada. Em alguns modelos podem possuir também funções como rádio, MP3, relógio e acoplamento para cartão SD.

A Figura 14 ilustra: (a) Chuveiro digital; (b) Função relógio; (c) Porta para o acoplamento do cartão de memória; (d) Acionamento da função rádio ou MP3; (e) Desligamento da função rádio ou MP3; (f) Apresentação do último valor de temperatura utilizada.

2.3 Aparatos Eletrônicos

Os aparatos eletrônicos englobam desde o controlador ao processador, o qual irá receber informações do sistema e com base em sua programação comandará o funcionamento, como também os equipamento que auxiliarão no monitoramentos da temperatura da água e no controle da energia para o sistema. Fundamentalmente são três as categorias de equipamentos eletrônicos: unidades de controle, sensores, e atuadores.

Figura 14: Chuveiro digital



Fonte: Autoria Própria.

2.3.1 Unidades de Controle

Um microcontrolador é uma espécie de microcomputador inserido em um *chip* de controle integrado. No *chip* do microcontrolador contém todos os itens como: portas de entrada e saída seriais e paralelas, temporizadores, controles de interrupção, memórias RAM (*Random Access Memory*) e ROM (*Read-Only Memory*), periféricos de entrada e saída, conversor analógico/digital, entre outros. O microcontrolador pode ser programado para diversas funções específicas, porém executa apenas aquilo que está programado. Havendo necessidade de outras funções, pode-se reprogramar.

Diferente de um computador, o microcontrolador possui todas as suas funcionalidades compactadas em um único circuito integrado, assim tem-se um tamanho reduzido e, por ser menor, apresenta baixo consumo energético, permitindo o uso de baterias que duram longos períodos de tempo. Os microcontroladores possuem periféricos reconfiguráveis que possibilitam estabelecer conexões com outros controladores proporcionando uma percepção de processos no mundo físico e real, como: sistemas de segurança, controle de rotação de um motor, medição de temperatura, controle de válvulas, e afins.

Dentre os microcontroladores da manufaturadora Atmel destaca-se a linha de controladores Atmega, aplicado em placas de arduinos, este tipo de controlador apresenta memória RAM e ROM, sendo que os diferentes tipos de processadores são destinados a tipos diferentes de arduinos; e as diferenças entre controladores estão na quantidade de memória e no número de entradas e saídas que estes possuem (SOUZA, 2014).

De acordo com Souza (2014), o arduino é uma plataforma livre que une *hardware*

e *software*, faz parte do que pode ser chamado de computação física que é a área da computação onde o *software* e o *hardware* interagem entre si. Destaca-se que esta placa pode ser programada com linguagem *C*, que é considerada como uma linguagem de compilação simples e pode ser facilmente compreendida.

Segundo Hachouche (2018), a popularização do arduino é decorrente de um produto desenvolvido com o objetivo de facilitar o aprendizado e possibilitar a prototipação e desenvolvimento de projetos com um custo relativamente baixo, além de não exigir um vasto conhecimento em eletrônica. Visto que o arduino é uma placa que possui microcontrolador e microprocessador, o que facilita sua programação e aplicação.

2.3.2 Sensor de Temperatura

Sensores são convertidores de grandezas físicas em sinais elétricos correspondentes, ou na definição de Ribeiro (2004):

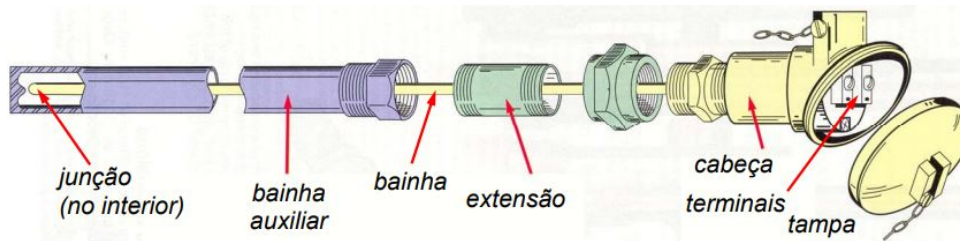
"Um sensor é um dispositivo que mede o valor de uma grandeza física, como por exemplo a temperatura [...] Os robos que trabalham inseridos em ambientes reais, estáticos ou dinâmicos, estão dotados de sensores que lhe permitem adquirir informação sobre o modo que interatuam com o mundo em que operam e sobre seu próprio estado interno." (RIBEIRO, 2004)

Os sensores de temperatura, ou termopares, são instrumentos destinados a mensuração de temperatura, sendo fabricado a partir de dois fios de metais diferentes. Estes fios são colocados em contato elétrico gerando uma diferença de potencial decorrente da temperatura. A junção dos dois materiais ocorre através da solda realizada na extremidade destes, unindo-os. Melo (2013) enfatiza que embora os termopares possam ser fabricados a partir da união de qualquer tipo de metal, são utilizados materiais normatizados para tal aplicação, pois estes possuem tensões de saída previsíveis e suportam grandes intervalos de temperatura com pequenos erros que podem variar de $0,5^{\circ}C$ a $2^{\circ}C$.

Os materiais que compõem o termopar não devem estar conectados diretamente ao voltímetro, pois pode gerar junções intermediárias. Para que isso não ocorra compensações por junta fria são necessárias, ou seja, ao inserir um terceiro metal entre os fios de uma junção de um termopar, as novas junções devem estar a mesma temperatura para não vir a causar modificações na saída do termopar. A medição de temperatura é realizada pela diferença de voltagem entre as junções principais. A Figura 15 detalha os componentes de um termopar.

A escolha de um termopar leva em consideração o intervalo de temperatura que determinado equipamento reconhece, como também a confiabilidade e exatidão dos dados gerados. Em casos em que se mede a temperatura da água ou de vapor a alta

Figura 15: Aspectos construtivos de um termopar



Fonte: Silva (2018).

pressão, o uso de bainha auxiliar de proteção deve obrigatoriamente ser soldada no processo.

Segundo a empresa Analogica Instrumentação e Controle Ltda. (2013), em termometria, é consenso que os termopares se destacam pela simplicidade e pela versatilidade; as termoresistências, pela estabilidade; os termistores, pela sensibilidade. Ainda, os termistores são uma classe de componentes eletrônicos cuja resistência é influenciada pela temperatura, podendo ser *negative temperature coefficient* (NTC) cuja resistividade decai como aumento da temperatura ou *positive temperature coefficient* (PTC) onde a resistividade aumenta com temperatura. Sua aparência é como vista na Figura 16.

Figura 16: Termistores



Fonte: Analogica Instrumentação e Controle Ltda. (2013).

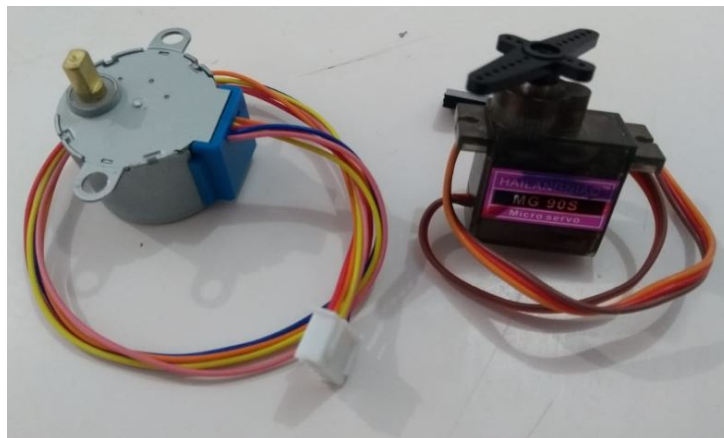
Outra opção viável seria o sensor digital de temperatura como o modelo DS18B20 da fabricante Maxim Integrated. Este sensor possui uma faixa de medição de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, com erro de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$, não necessita componentes externos, pode ser aplicado com uso de somente dois ou três fios e é compatível com arduino tendo até bibliotecas próprias para seu uso.

2.3.3 Atuadores

Atuadores são equipamentos responsáveis por converter energia elétrica, hidráulica ou pneumática em energia mecânica. No caso, visando a simplificação e redução de custo do projeto, as interações com o meio serão realizadas por atuadores elétricos.

Para selecionar dentre os atuadores disponíveis no mercado deve-se avaliar os critérios essenciais devido a aplicação. Primeiro, sendo seu uso para o acionamento de válvulas cujo o acionamento é por rotação, fica clara uma vantagem no uso de motores sobre o uso de solenóides, por exemplo. Outro requisito aparente é a capacidade de estagnação em uma posição como obtida com o uso de motofreio, mas a necessidade de uma elevada precisão deste posicionamento restringe a seleção dentre dois tipos de atuadores: motor de passo e servomotor. A Figura 17 mostra um tipo de motor de passo e um tipo de servomotor.

Figura 17: Motor de passo (à esquerda) e servomotor (à direita)



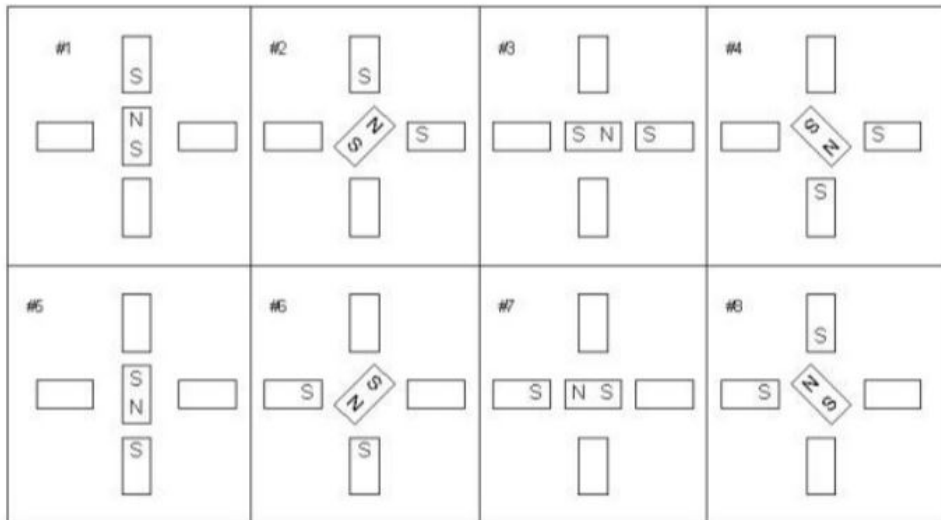
Fonte: Autoria Própria.

O motor de passo, como explicado mais a fundo por Brites e Santos (2008), é um dispositivo eletromecânico que converte sinais elétricos em movimentos mecânicos gerando incrementos angulares discretos, os passos. Seu rotor imantado permite o funcionamento que faz uso de solenóides alinhados dois a dois que quando energizados atraem o rotor fazendo-o se alinhar com o eixo determinado pelos solenóides (BRITES; SANTOS, 2008). Assim, o número de passos por rotação é decorrente do número de alinhamentos possíveis entre rotor e bobinas, quanto mais bobinas mais passos.

Outra solução para maior precisão nos incrementos angulares é a abordagem com frações de passos, onde se deseja uma posição intermediária do rotor, alimenta-se as bobinas com energia proporcional. Por exemplo, meio passo é proveniente de uma alimentação igual em duas bobinas adjacentes, 50% da energia total em cada, como exposto na Figura 18. Os motores de passo se distinguem ainda em unipolar e bipolar quanto ao número de enrolamentos por fase e relutância variável, ímã permanente e híbrido no que diz respeito a estrutura. Sendo este último, o híbrido, o com maior resolução de passo chegando a alcançar 400 passos por revolução em alguns modelos.

Uma alternativa de atuador para o estudo é o servomotor, em especial, um de atuação limitada a $180^{\circ}C$ que assim como o motor de passo permite o estacionamento

Figura 18: Diagrama demonstrativo de funcionamento do meio passo



Fonte: Brites e Santos (2008).

do rotor em uma posição. Porém, difere ao permitir em sua programação a seleção de uma posição específica (ângulo) e não só o incremento angular, facilitando a programação. Além disso, a discretização do posicionamento é mais homogênea.

De acordo com Santos (2007) o servo em si é composto por diferentes subsistemas evidentes na Figura 19:

Figura 19: Interior do servomotor

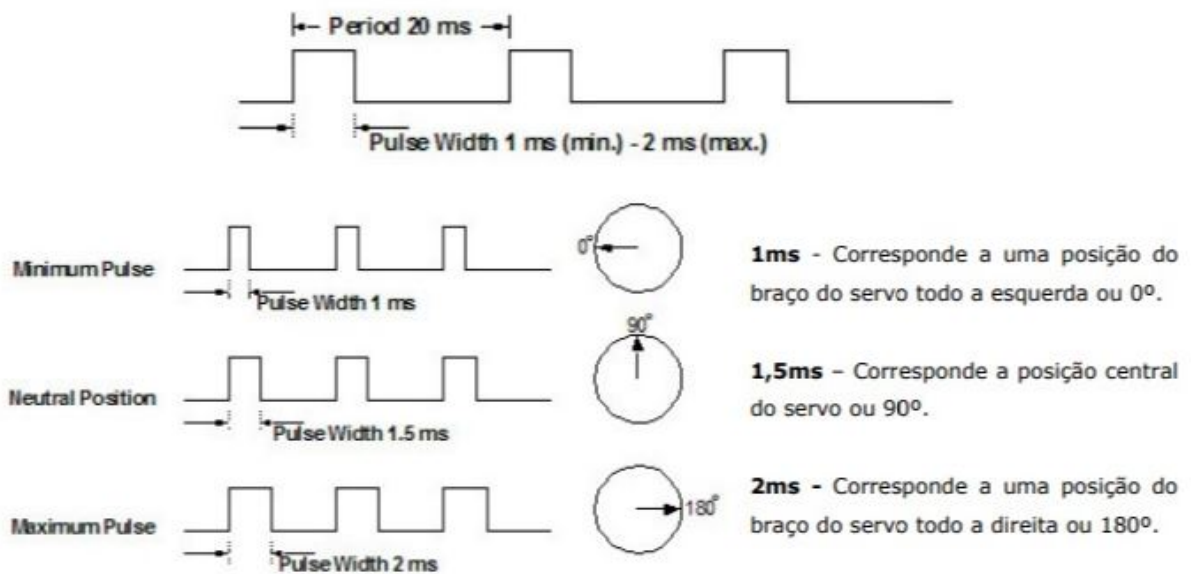


Fonte: Do bit Ao Byte (2016).

- Circuito de controle: recebe os sinais e a energia, monitora a posição do potenciômetro e controla a posição do motor de acordo com os sinais recebidos;
- Potenciômetro: monitora a posição do eixo de saída do servo;
- Motor: converte a energia elétrica em movimento;
- Engrenagens: transmitem movimento do eixo do motor ao eixo de saída, reduzindo a rotação e elevando o torque;
- Caixa: agrupa e protege os demais componentes.

Esses subsistemas permitem ao equipamento a chamada retroalimentação, ou seja, a leitura de alterações da vizinhança em função de sua alteração, no caso a posição do rotor. Santos (2007) explica a determinação do angulação do rotor por meio da leitura de pulsos (PWM) em um intervalo de 20 milissegundos. Conforme a largura destes pulsos, o circuito posiciona o rotor, como visto na Figura 20.

Figura 20: Controle do servomotor por PWM



Fonte: Santos (2007).

Ambos os motores são aplicáveis ao projeto, cada um possuindo vantagens variadas em relação ao outro. O servomotor oferece uma implementação ao projeto mais fácil, mais agilidade e um intervalo de ângulos quase contínuo. Enquanto o motor de passo oferece maior robustez, estabilidade e custo reduzido.

3 METODOLOGIA

A metodologia de projeto a ser utilizada no desenvolvimento do sistema proposto é a organização sugerida por Norton (2013), o qual elucida dez etapas para aplicação metodológica de projetos, auxiliando no desenvolvimento e na organização. As etapas propostas são:

1. Identificação da necessidade;
2. Pesquisa de suporte;
3. Definição dos objetivos;
4. Especificação das tarefas;
5. Síntese;
6. Análise;
7. Seleção;
8. Projeto detalhado;
9. Protótipo e teste;
10. Produção.

Norton (2013) destaca que há necessidade de interação entre as etapas ao longo do processo, não sendo possível a conclusão linear das etapas propostas. Todavia, destaca-se que a última fase não terá ênfase neste trabalho, visto que este visa o desenvolvimento de um projeto destinado para estudo e não para a produção em massa.

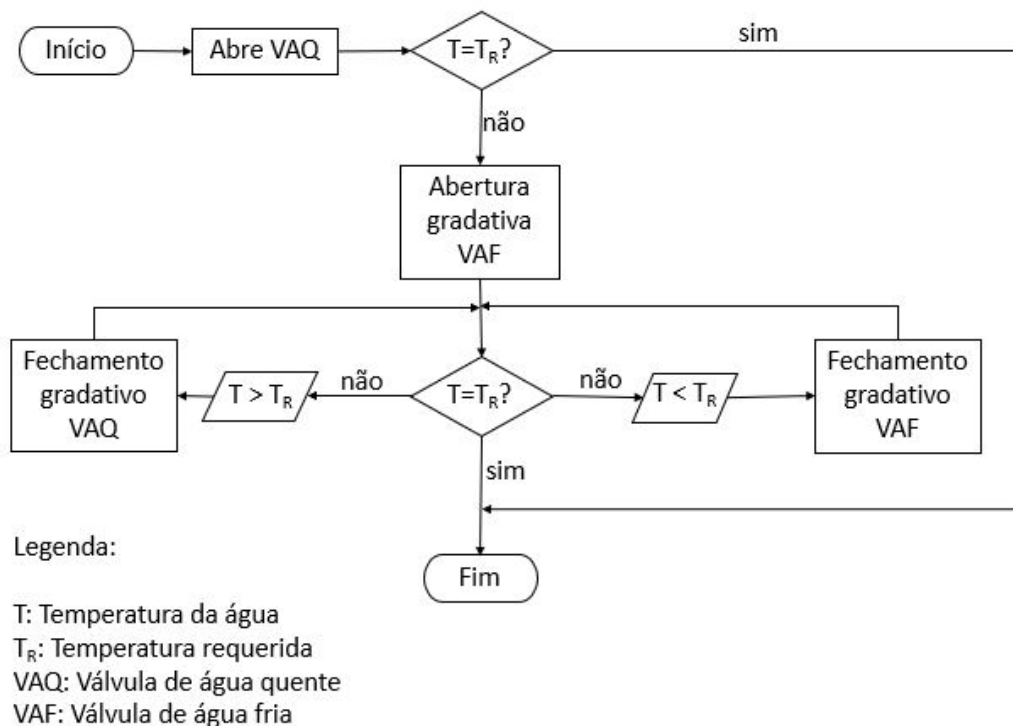
Nas primeiras etapas deste estudo foi identificado o problema a ser compreendido, neste caso destaca-se o desperdício de água em residências que possuem sistemas alternativos de aquecimento de água (como sistemas de aquecedores a gás, *boilers* e coletores solares), seguido de uma pesquisa com o intuito de definir etapas do problema, como: quantificar numericamente (em litros) o desperdício de água que perdeu calor enquanto estagnada na tubulação e a relação do desperdício com o tempo de ajuste de temperatura da água. Como visto nos capítulos anteriores do presente trabalho. Após a definição do problema e suas proporções, foram estabelecidos os objetivos deste estudo.

A especificação e detalhamento das tarefas do sistema são, conforme evidenciadas pela pesquisa, dois processos referentes as duas situações encontradas, como descrito a seguir.

1. Primeiro Processo

O controle da mistura para o ajuste de temperatura, é geralmente realizado como mostra o fluxograma na Figura 21, onde ilustra o processo de ajuste manual de temperatura da água, para o banho, de um sistema com reservatório de água quente, utilizando um sistema de controle bicomando.

Figura 21: Fluxograma do sistema manual de ajuste de temperatura da água



Fonte: Autoria Própria.

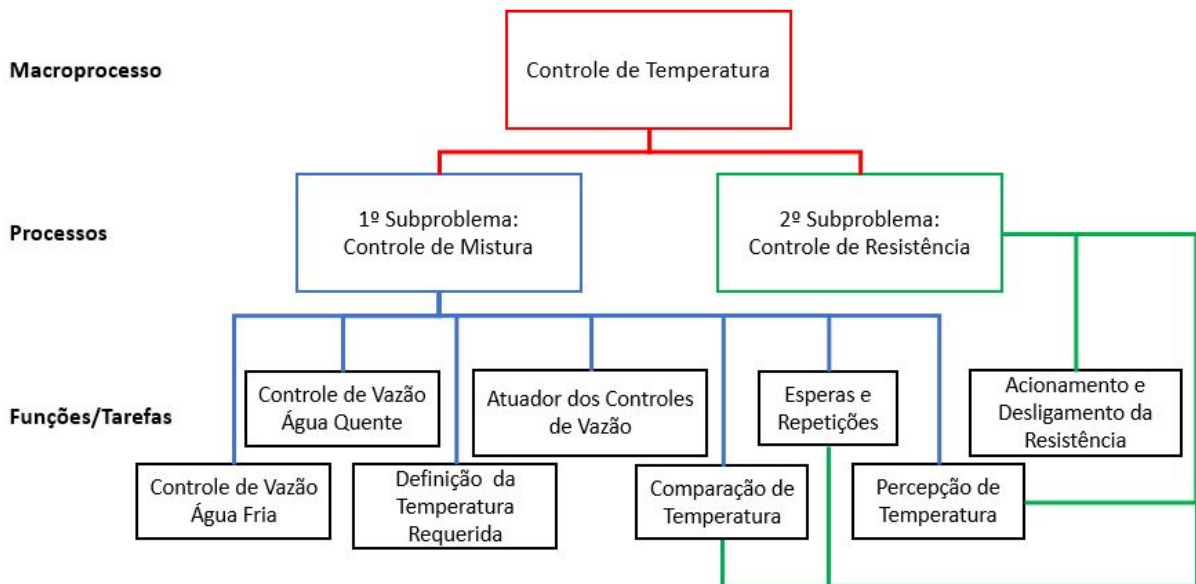
Para realizar esses processos, tarefas menores (funções específicas) devem ser tomadas como partes de um todo. Para o primeiro processo, com base o procedimento manual ilustrado na Figura 21, certas operações ficam em evidência:

- controle de vazão por meio de dois registros;
- abertura e/ou fechamento dos registros fica a cargo do usuário;
- seleção de uma temperatura requerida para o banho é qualitativa;
- a percepção de temperatura de conforto da água é sentida pela pele;
- o ajuste de temperatura se repete, as vezes, ao longo do banho;
- comparação entre a temperatura da água e a temperatura requerida.

2. Segundo Processo

A utilização de um resistor pode aquecer, no início, a água fria que estava estagnada na tubulação, eliminando o desperdício de água que não é utilizada para o banho. Quando a água quente do reservatório chegar ao chuveiro, o resistor é desligado, reduzindo o consumo de energia elétrica. Assim, automatizar estes processos potencializa ao máximo a economia de água e energia elétrica. Este processo, tem como base de seu conjunto de funções algumas que formam uma interseção com as funções do primeiro, como a percepção de temperatura da água e a desejada. Aqui surge uma função que integra o processo: o acionamento/desligamento da resistência elétrica. Segundo Norton (2013), a especificação de tarefas constitui um passo importante de projeto. Rozenfeld et al. (2006) também cita a importância da modelagem funcional por estruturas, este estágio representa a passagem entre o problema identificado e começar a resolvê-lo. Desta forma, existe uma hierarquia de tarefas organizada como mostra a Figura 22, onde se realizadas as tarefas menores de sua base em conjunto, todo o sistema se torna viável. O fluxograma apresentado na Figura 21 ganha complexidade e evolui como apresenta a Figura 23.

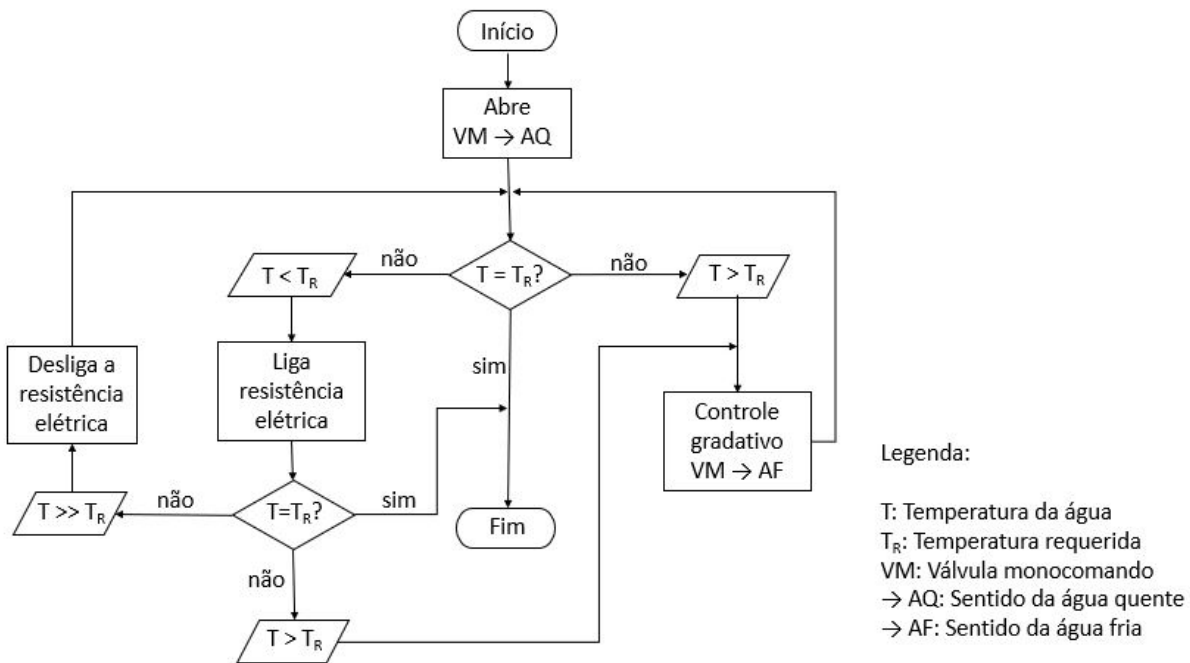
Figura 22: Hierarquia de tarefas



Fonte: Autoria Própria.

A partir da descrição supracitada do funcionamento de um sistema bicomando para o ajuste da temperatura da água, estuda-se as possíveis soluções para o controle automático, partindo do levantamento de equipamentos e tecnologias existentes no mercado que podem ser aplicados diretamente ou adaptados ao sistema. Na continuidade do projeto é realizada a análise das soluções com base nos itens identificados e

Figura 23: Fluxograma do sistema como proposto



Fonte: Autoria Própria.

estudados para possíveis aplicações. Destacou-se a possibilidade de trabalhar com um sistema bicomando (vide Figura 10) ou monocomando (ilustrada na Figura 8). Considera-se que o sistema monocomando seja mais simples de trabalhar e elaborar uma solução mais adequada, enquanto o bicomando tem como vantagem a aplicação mais direta dos equipamentos necessitando menos ajustes e acomodações para se adequar, mas a um custo monetário mais elevado.

Avaliando as vantagens e desvantagens de cada proposta de solução e comparando-as, uma escolha deve ser feita para dar prosseguimento ao trabalho. A escolha passa a ser analisada em suas nuances e otimizada ao limite do possível.

A etapa seguinte, o projeto detalhado, contém os desenhos esquemáticos, a seleção de equipamentos e dispositivos, e detalhes de montagem. O detalhamento auxilia no melhor entendimento do sistema e a análise ajuda a determinar os modelos de equipamentos de maior viabilidade técnica para o projeto.

Para validar as escolhas feitas no âmbito intelectual, um protótipo deve ser montado e testado. Tendo-se em mente que todas as etapas descritas são iterativas e os conhecimentos vão sendo acumulados ao longo do projeto. Mudanças podem ser realizadas na síntese de propostas ao se perceber na montagem do protótipo opções inexploradas, por exemplo.

4 DESENVOLVIMENTO

A solução deste problema é trabalhado na forma de subproblemas, cujas soluções são:

1. Automatização da mensuração das proporções de água quente e fria, provenientes de seus respectivos reservatórios;
2. Controle do uso da resistência elétrica no aquecimento da água fria da tubulação.

As propostas de soluções consideradas pertinentes para cada subproblema, estão descritas na etapa de síntese e dentre elas é escolhida a solução mais adequada para o desenvolvimento e detalhamento do sistema, partindo da escolha do modelo que melhor atende as expectativas será realizada a seleção dos equipamentos empregados em sua implementação. Além disso, serão apresentados a lógica do controle da mistura e o programa computacional que é aplicado no funcionamento e controle do sistema.

4.1 Síntese

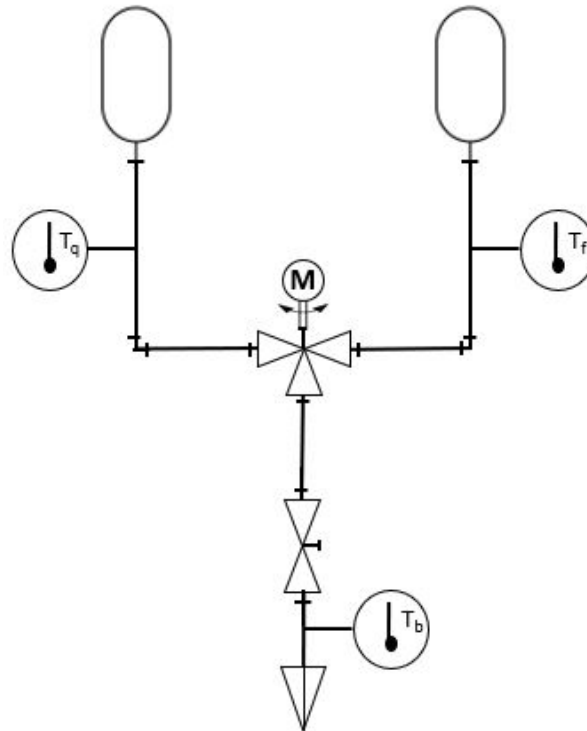
Partindo do método de mistura de água quente/fria mais comumente utilizado nas residências, o sistema bicomando, cujo detalhamento de tarefas foi ilustrado na Figura 21, a qual descreve o período de ajuste da temperatura com uso de registros que controlam a proporção de água quente/fria independentemente.

A primeira proposta de solução para o primeiro subproblema, é de automatização deste sistema, agilizando o processo de mistura de água e avaliando a temperatura de banho antes que esta chegue ao chuveiro, obtendo-se assim uma temperatura mais próxima da desejável. Desta forma, propõe-se a substituição dos registros globo por servoválvulas que executem a mistura de forma automática. As temperaturas de água quente e fria de banho serão mensuradas por meio de sensores de temperatura. O arduino irá controlar a abertura e fechamento das válvulas com base na temperatura de banho e da temperatura escolhida pelo usuário por meio do *keypad*. Ou seja, o arduino verificará a temperatura de banho e enviará um comando que refletirá na necessidade de aumentar ou reduzir determinada vazão de água.

A proposta atende as funções bases para o controle da mistura e tem por benefícios o controle mais refinado por ser efetuado na tubulação de água quente e fria independentemente. Contudo, o valor de aquisição é elevado e a modelagem matemática do problema torna-se mais complexa por possuir mais variáveis. O que poderia ser resolvido com iterações meramente comparativas, mas diminuiria a eficiência da regulação acarretando em menor economia de água. Fugindo do escopo principal do projeto.

A segunda proposta para a solução do primeiro subproblema é de realizar a mistura com o uso de uma válvula monocomando a qual estará acoplada a um servomotor como esquematizado na Figura 24, onde T_q , T_f e T_b são respectivamente, temperatura da água quente, temperatura da água fria e temperatura de banho. Este servomotor irá receber comandos de movimento provenientes do arduino e irá definir as proporções de água quente e fria que farão parte da mistura, resultando em água com temperatura agradável para banho. O cálculo das proporções que resultarão na mistura partirão dos valores de temperatura da água quente, fria e a escolhida pelo usuário, resultando em uma convergência mais rápida à temperatura desejada. Este sistema é mais viável economicamente e mais simples em relação ao primeiro. Em contrapartida exige a adaptação da válvula acoplada ao motor.

Figura 24: Diagrama hidráulico da proposta com monocomando

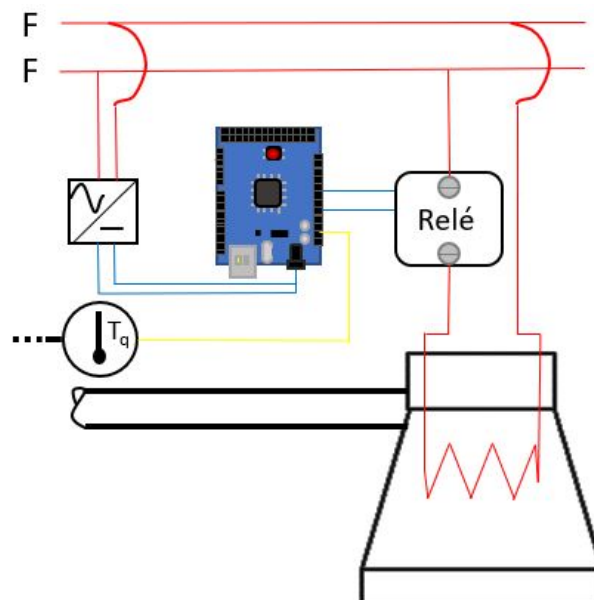


Fonte: Autoria Própria

A primeira solução para o segundo subproblema, consiste no uso da resistência elétrica durante o período em que houver apenas água fria na tubulação, utilizando um chuveiro híbrido que possui o sistema *flex*, o qual permite que a resistência elétrica seja acionada quando houver apenas água fria na tubulação e que quando a água quente proveniente do reservatório chegar ao chuveiro, o sensor de temperatura informa o controlador do chuveiro para que a resistência elétrica seja desligada. Aproveitando assim a água fria da tubulação e dando prioridade ao uso da água aquecida ao uso da eletricidade.

A segunda solução para o segundo subproblema, consiste no uso de um relé que irá atuar no sistema elétrico do chuveiro, ou seja quando o sensor de temperatura informar uma temperatura de banho menor que a temperatura escolhida, o arduino emitirá um sinal para o relé que acionará o fornecimento de energia ao chuveiro. Esta proposta é de simples instalação, funciona bem em conjunto com ambas as soluções do primeiro subproblema, pois o arduino e componentes eletrônicos já estariam sendo empregados. Deve-se ter uma atenção especial na escolha do modelo de relé, que precisa combinar corrente e tensão de ativação compatível com o arduino e ser capaz de manipular a alta carga demandada pelo chuveiro. Em síntese a montagem ocorre como o esquema da Figura 25.

Figura 25: Esquema de acionamento do resistor por relé



Fonte: Autoria Própria

A terceira opção de controle da resistência consiste no uso de um chuveiro eletrônico, isto é, que possui potenciômetro. Este potenciômetro realiza o controle de corrente que chega a resistência e assim permite o controle refinado de intensidade de calor gerado na câmara quente, como também o acionamento e desligamento da resistência. O controle do potenciômetro seria realizado por meio de um servomotor acoplado no potenciômetro e controlado pelo arduino. Para este caso seria possível realizar um estudo de controle de temperatura também para o chuveiro por meio do uso da resistência elétrica, o que poderia proporcionar maior conforto térmico ao usuário. Este modelo no entanto requer maior manutenção, maior complexidade de instalação e modelagem matemática diferenciada. Esta é possivelmente a proposta de solução mais barata para o segundo subproblema se não for levado em consideração o custo do chuveiro.

Encontram-se apresentadas um total de seis permutações de conjunto de soluções, duas para o primeiro problema e mais três para saciar o segundo. Cabe a partir deste ponto a seleção do par mais apropriado para o desenvolvimento do sistema.

4.2 Sistema Proposto

A opção considerada a mais apropriada é a combinação da segunda solução do primeiro subproblema e segunda solução do segundo subproblema. Otimizando o tempo no qual a mistura é realizada por meio de uma válvula monocomando, enquanto o acionamento da resistência elétrica ocorrerá utilizando um relé. Tal combinação está esquematizada na Figura 44 no Apêndice A, que é o diagrama elétrico de instalação do sistema.

4.2.1 Descrição dos Equipamentos

Para a aplicação do sistema solução serão necessários basicamente:

- Válvula monocomando;
- Válvulas globo;
- Arduino;
- Relé;
- Visor LCD;
- Sensores de temperatura;
- Servomotor;
- Acoplamento;
- Tubos e conexões;
- Chuveiro elétrico;
- Outros.

O chuveiro selecionado foi a Super Ducha Quatro, fabricado pela FAME (conforme Figura 26), o qual possui potência de $6\,800\text{ W}$, para uma tensão de 220 V . O modelo foi escolhido por ser popular no mercado, ser um item de baixo custo de aquisição, além de possuir baixa corrente de trabalho e ser de fácil instalação.

A escolha do uso da válvula monocomando ao de um sistema bicomando deu-se pela menor complexidade de cálculo para definir as proporções de água quente e

Figura 26: Super Ducha Quatro - FAME



Fonte: Autoria Própria

fria, o que reflete em menor tempo de ajuste da temperatura da água para banho. O sistema envolvendo duas válvulas de acionamento e controle automatizado além de acarretar maior custo ao projeto também proporcionaria maior complexidade de cálculo, onde deveria ser considerado as variações de vazão mássica de água quente e fria separadamente ou desenvolvido um programa que atuasse com base na temperatura de banho e diversas iterações até atingir a precisão proposta.

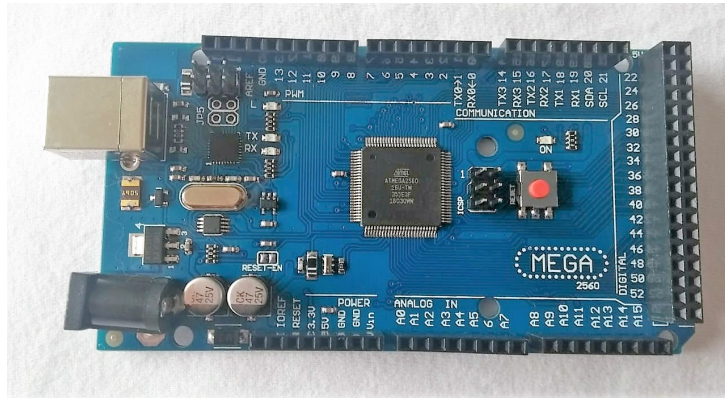
As válvulas ou registros globo foram selecionados, pois estes permitem um controle gradual da vazão necessário na ocorrência de uma falta de energia.

Para o processamento de dados e controle dos componentes optou-se pela placa Arduino Mega 2560, vide Figura 27, o qual possui processador AVR. Esta placa foi escolhida pela compatibilidade com diversos componentes em uso no sistema, facilidade de programação e instalação, baixo custo, quantidade superior de portas e memória em comparação a outros arduinos.

O relé selecionado foi o SSR 4840 da Novus (ilustrado na Figura 28), um relé de estado sólido que possui como vantagens:

- baixíssima ou nenhuma interferência com o circuito de comando;
- não possui partes móveis, o que acarreta em menor manutenção;
- menor ruído;
- maior durabilidade do que o relé convencional eletromecânico;
- não gera arcos;

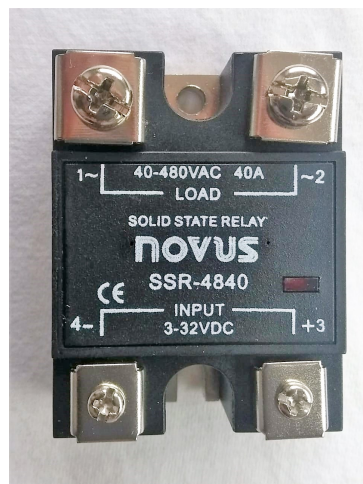
Figura 27: Arduino Mega 2560



Fonte: Autoria Própria

- velocidade de comutação elevada.

Figura 28: Relé SSR 4840 - Novus



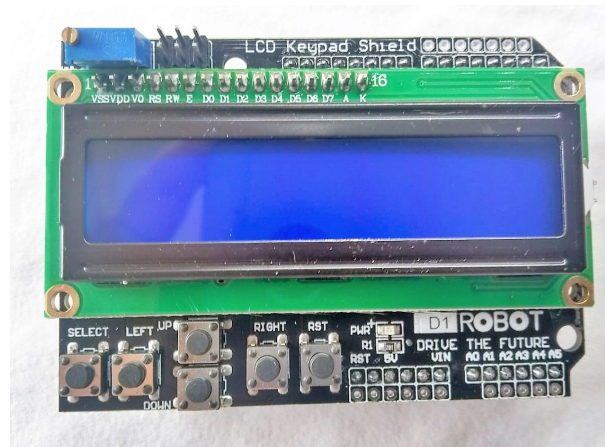
Fonte: Autoria Própria

O relé modelo SSR 4840 em particular foi selecionado por suportar $40 A$ e $480 VAC$ de carga além de ser acionado com correntes de 3 a $32 VDC$ que condiz com o arduino e a corrente necessária para o acionamento do chuveiro escolhido.

O display de cristal líquido (LCD), apresentado na Figura 29, possui teclado complementar, assim há menos conexões a serem realizadas, facilitando a compreensão do sistema, como também é um acessório próprio para uso conjunto com o arduino, compactando o sistema. O visor possui 16 colunas e 2 linhas, que correspondem aos espaços para caracteres, e 6 botoeiras.

A escolha do sensor de temperatura DS18B20 (vide Figura 30) ocorreu devido ao fato de o sensor de temperatura facilitar a programação do sistema e utilizar um único fio para transmissão de dados. No caso do termopar, o arduino leria uma diferença tensão por meio de dois fios e converteria os dados em temperatura, enquanto o sensor

Figura 29: Arduino LCD Keypad Shield (SKU: DFR0009)



Fonte: Autoria Própria

escolhido permite que o microprocessador leia diretamente a temperatura. Dentre suas características favoráveis, vale resaltar a faixa de temperatura de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, apropriada ao uso para sistemas de banho, margem de erro de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e é a prova d'água o que é essencial para a aplicação deste projeto.

Figura 30: Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Autoria Própria

A escolha do micro servomotor (Figura 31), é decorrente da facilidade de programação e funcionamento que este proporciona em uso conjunto com o arduino.

No caso do motor de passo, o arduino envia duas informações quando conectado a um motor de passo: sentido e movimento, sempre partindo de uma posição preestabelecida e incrementando determinada variação angular, ou seja, em caso de falha do sistema ou posicionamento o motor de passo vai mover-se o quanto foi definido e no sentido orientado pelo processador, sem realizar a correção. Enquanto o servomotor, recebe como orientação do arduino a posição em que ele deve estar em graus independente da posição que ele estiver, sempre ocorrerá correção, proporcionando maior confiabilidade ao sistema.

Outro diferencial se encontra na discretização dos ângulos, segundo Brites e Santos (2008) o motor de passo híbrido, modelo que possibilita mais divisões, possui uma discretização máxima de 400 passos por volta (cerca de 0,9 graus por passo), e o servomotor tem uma funcionalidade quase contínua de angulação permitindo um ajuste mais fino. O modelo foi especificado em função de sua faixa de torque ($17,25 - 20,32 \text{ kgf} \times \text{cm}$) e tensão de operação ($4,8 - 6 \text{ V}$).

Figura 31: Micro servomotor PDI Jx 5521 mg 20 kg



Fonte: Autoria Própria

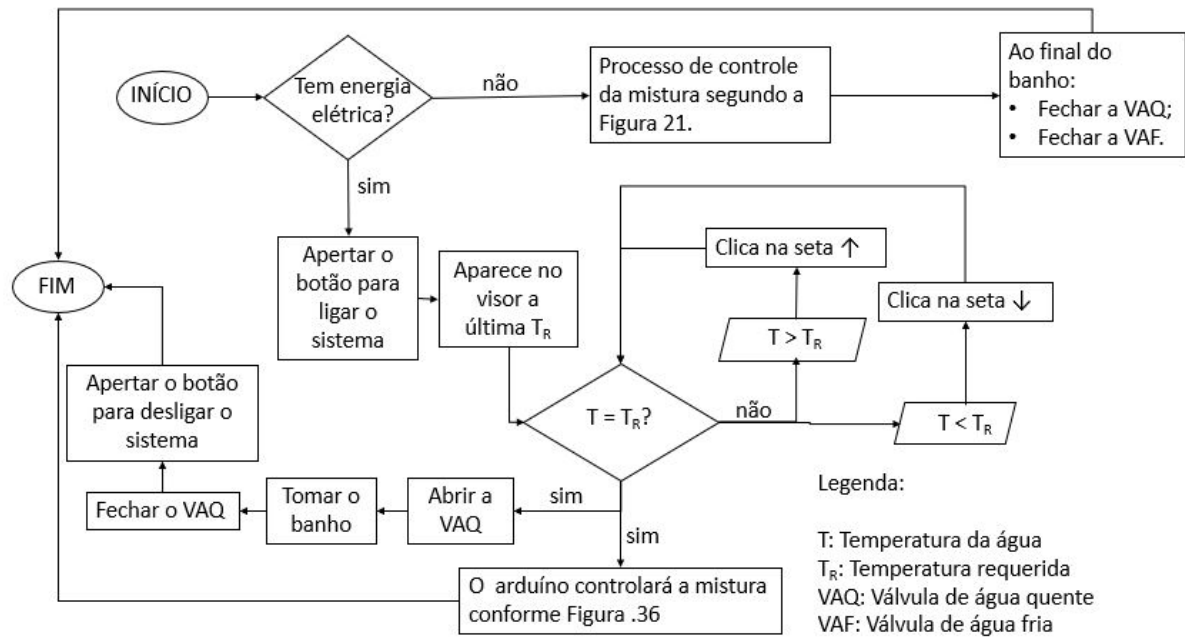
4.2.2 Operação do Sistema

A Figura 32 destaca a etapa de funcionamento do sistema quando tem energia elétrica e como utilizar água quente e fria quando não há energia para alimentação do sistema. Na falta de energia elétrica, o controle da mistura de água será realizado de forma manual.

O acionamento do sistema, quando tem energia elétrica, inicia-se pressionado o botão que controla a fonte de energia. O arduino enviará ao visor a última temperatura de banho mas, caso esta não seja a desejada poderá ser realizado o ajuste da temperatura requerida (T_R). Então, e só então, é aberto o registro da água quente, neste procedimento, economiza-se tempo e água na regulagem da temperatura. Pois, se a abertura do registro for antes da seleção de T_R , a água é desperdiçada enquanto o usuário executa suas ações de interação com o sistema.

Além de sua função principal de regular a temperatura requerida o *keypad* também serve para retornar alguns dados ao usuário. Ao manter pressionada a tecla da esquerda do *keypad*, o valor da fração de água quente utilizada no momento aparece no *display*. E ao pressionar a tecla da direita o valor da temperatura de trabalho, ou

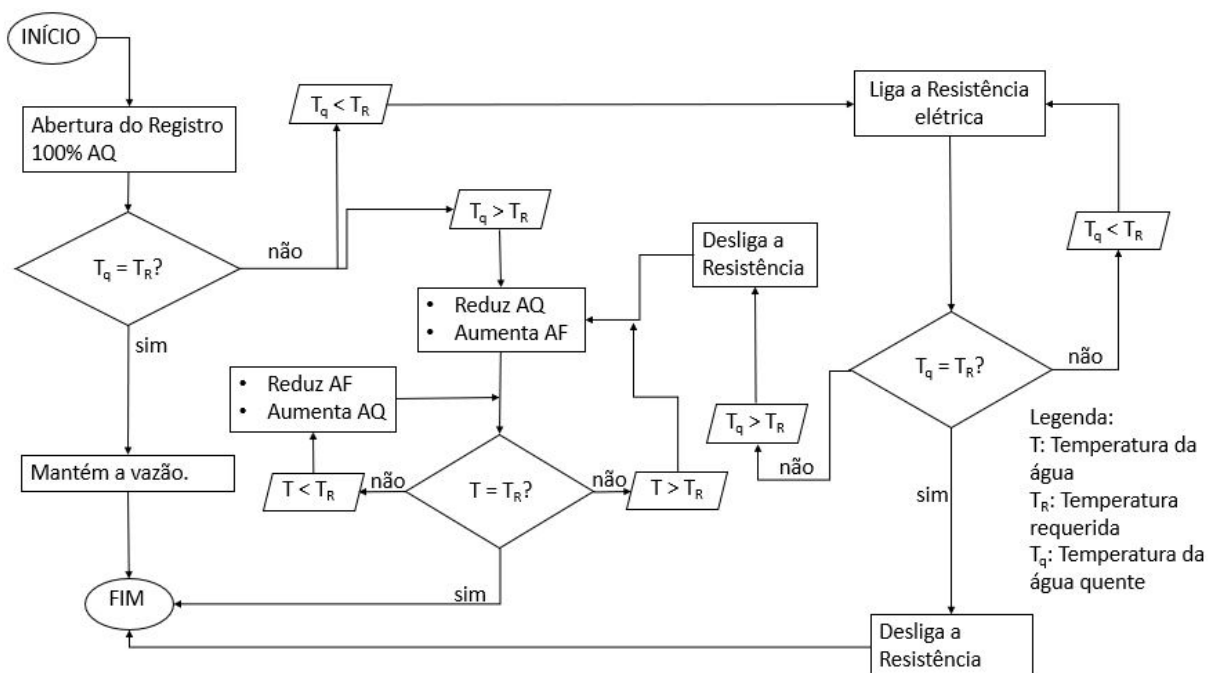
Figura 32: Fluxograma de acionamento do sistema com e sem energia elétrica



Fonte: Autoria Própria

seja, a temperatura real medida após a resistência, poderá ser observado no visor. Isto visa um acompanhamento por parte do usuário, o consumo e o funcionamento do sistema. No mesmo intuito de oferecer *feedback*, um LED é acessado ao ligar da resistência elétrica do chuveiro.

Figura 33: Fluxograma de funcionamento do sistema



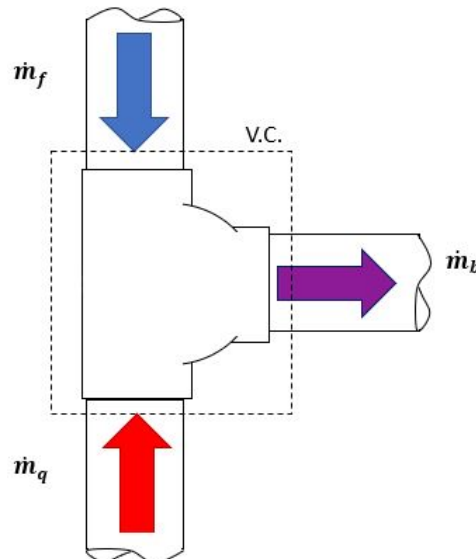
Fonte: Autoria Própria

No fluxograma da Figura 33, o arduino recebe as informações provenientes dos sensores e do *keypad*, sendo elas: temperatura da água quente (T_q) mensurado pelo sensor de temperatura 1 ($ST1$), temperatura da água fria (T_f) mensurado pelo sensor de temperatura 2 ($ST2$), temperatura da água de trabalho (T_b) mensurado pelo sensor de temperatura 3 ($ST3$) posicionada na entrada ou saída do chuveiro.

4.3 Balanço de Massa e Energia

A Figura 34 mostra uma válvula misturadora com uma entrada de água quente, uma entrada de água fria e uma saída da mistura de água, utilizada no banho.

Figura 34: Válvula misturadora



Fonte: Autoria Própria

Admitindo que o volume de controle (*V.C.*) seja adiabático, dadas a pequena dimensão da válvula, o pouco tempo em funcionamento e o possível isolamento em alvenaria no caso de uma instalação predial. Então, nenhuma energia será adicionada ou retirada do sistema em forma de calor. O mesmo para o trabalho, pois despreza-se o trabalho que o servomotor despende para regular a válvula. Assim, em conformidade a primeira lei da termodinâmica, expressa na Equação 4.1, se nenhuma energia esta sendo acumulada dentro do volume, a energia que entra deve ser a mesma energia que sai.

$$\Delta \dot{E} = \dot{W} + \dot{Q} = 0 \quad (4.1)$$

logo,

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{saída} = 0 \quad (4.2)$$

onde:

$\Delta \dot{E}$: taxa de variação de energia;
 \dot{W} : taxa de trabalho (= 0);
 \dot{Q} : taxa de transferência de calor (= 0).

Pela equação da continuidade, a massa deve-se conservar, logo a vazão que entra deve ser a mesma que sai, conforme Equação 4.3.

$$\sum \dot{m} = \dot{m}_q + \dot{m}_f - \dot{m}_b = 0 \quad (4.3)$$

assim,

$$\dot{m}_q + \dot{m}_f = \dot{m}_b \quad (4.4)$$

onde:

\dot{m}_q : vazão mássica da água quente;
 \dot{m}_f : vazão mássica da água fria;
 \dot{m}_b : vazão mássica da água para banho.

Neste equacionamento não leva-se em consideração a diferença de altura entre as entradas e saída por ser mínima, também despreza-se a variação de energia cinética. As energias consideradas em cada ponto para realização dos cálculos são a energia interna e as variações de pressão e volume. Assim, pode-se utilizar a definição de entalpia:

$$H = U + pV \quad (4.5)$$

Dividindo a Equação 4.5 pela massa, obtém-se a entalpia específica.

$$h = u + pv \quad (4.6)$$

onde:

U : energia interna total;
 u : energia interna específica;
 V : volume total;
 v : volume específico;
 H : entalpia total;
 h : entalpia específica;

p : pressão.

Vale ressaltar que todos estes termos são propriedades termodinâmicas dependentes do estado do sistema e sua combinação também deve atender a este critério, como bem elucidado por Sonntag et al. (1998), ou seja, $v = v(T, s)$, $p = p(T, v)$ e $u = u(T, v)$ ou $u = u(p, v)$ ou $u = u(T, s)$, então, $h = h(T, v)$, $h = h(p, v)$ ou $h = h(T, s)$. Ainda, para um líquido incompressível nas condições normais de pressão, $h = h(T)$.

Assim a primeira lei descrita no volume de controle toma a forma,

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{saída} = h_{entrada} \dot{m}_{entrada} - h_{saída} \dot{m}_{saída} = 0$$

Aplicando ao caso,

$$(h_q \dot{m}_q + h_f \dot{m}_f) - h_b \dot{m}_b = 0 \quad (4.7)$$

Da equação da primeira lei da termodinâmica e da conservação de massa (Equação 4.3), deseja-se encontrar uma relação de água quente e água fria, que corresponda a temperatura de banho escolhida. Seja:

$$\frac{\dot{m}_q}{\dot{m}_b} = \text{FracAQ} \quad (4.8)$$

mas,

$$\frac{\dot{m}_q}{\dot{m}_b} + \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_b} = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_b} = 1 \quad (4.9)$$

então:

$$\left(\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_b} \right) = 1 - \text{FracAQ} \quad (4.10)$$

Substituindo a Equação 4.9 na Equação 4.7, tem-se:

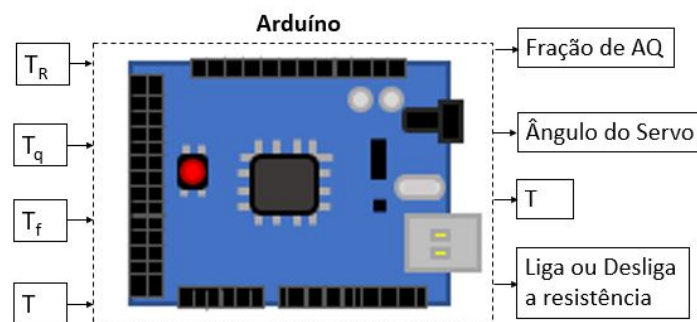
$$\text{FracAQ} = \frac{(h_b - h_f)}{(h_q - h_f)} \quad (4.11)$$

A partir da Equação 4.11 pode-se implantar uma rotina no código do arduino, a fim de estabelecer a razão de água quente a ser despendida.

4.4 Rotina Computacional

Estabelecida uma relação matemática para obter a razão de água quente pelo total de água que dependa apenas da temperatura, é agora possível implementar um código em linguagem C++ para o microcontrolador que controlará as ações do sistema, bem como executar o cálculo de mistura da água. O arduino deverá controlar o servomotor e o acionamento da resistência. De maneira resumida, ele deverá receber as temperaturas medidas nos sensores e a definida pelo usuário e retornar e executar os parâmetros para obter a temperatura da água de banho. A Figura 35 mostra os parâmetros de entrada e saída do arduino.

Figura 35: Função do arduino



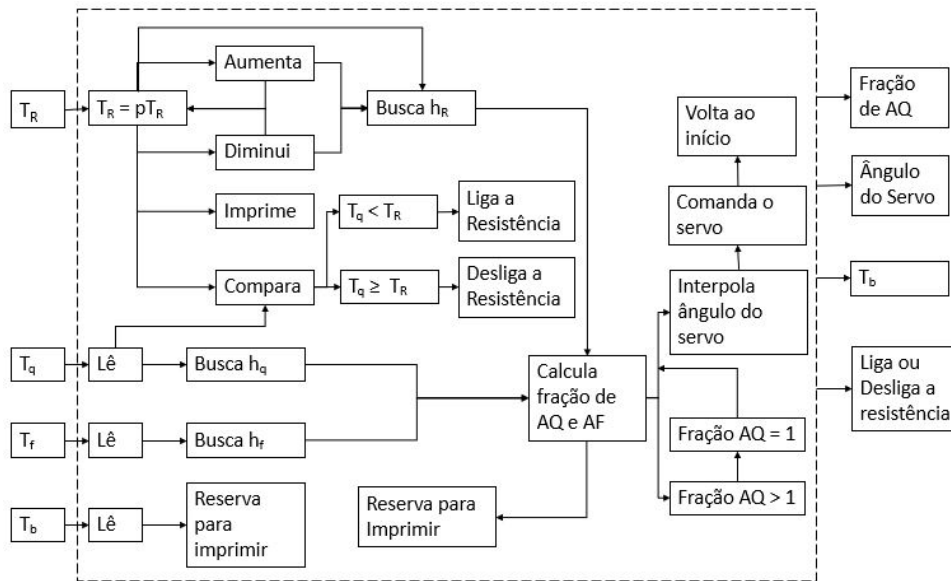
Fonte: Autoria Própria

Resta saber como o componente executará esta transformação, que funções menores ele terá de realizar e como será o acompanhamento e tratamento de dados. A Figura 36 mostra este desdobramento das tarefas do arduino. Este esquema representa na verdade parte de um ciclo constante de execução. Os sensores enviam dados ao arduino, que responde na forma de comandos aos atuadores o que pode ser definido como processos, os quais realizam as mudanças do sistema, que são lidas pelos sensores dando continuidade ao processo de controle.

O processo tem início com o recebimento dos valores de temperatura ou, para o caso da temperatura escolhida, o resgate do último valor definido que pode ser aumentado ou reduzido pelo usuário no teclado. Em seguida o sistema busca em sua memória as entalpias a serem utilizadas no cálculo. O programa compara as temperaturas da água quente e a escolhida e caso a primeira seja menor, a resistência é acionada. Ainda, calcula fração de água quente ideal, com alguns passos para garantir a segurança e funcionalidade do sistema, e aciona o motor que controla a mistura. O programa grava certos valores, e caso o usuário queira verificar, são mostrados no *display*.

O código da rotina do controle desta série pode ser visto no Apêndice B, onde mostra o tempo de execução do ciclo de 500 milissegundos, as funções matemáticas,

Figura 36: Funções desdobradas do arduino



Fonte: Autoria Própria

as portas de dados utilizadas e o arranjo de associação entre temperatura e entalpia. O código possui seções para a interação do usuário pelo *keypad*, acionamento da resistência e, por se tratar de um objeto de estudo, comunicação serial com computadores para acompanhamento de dados.

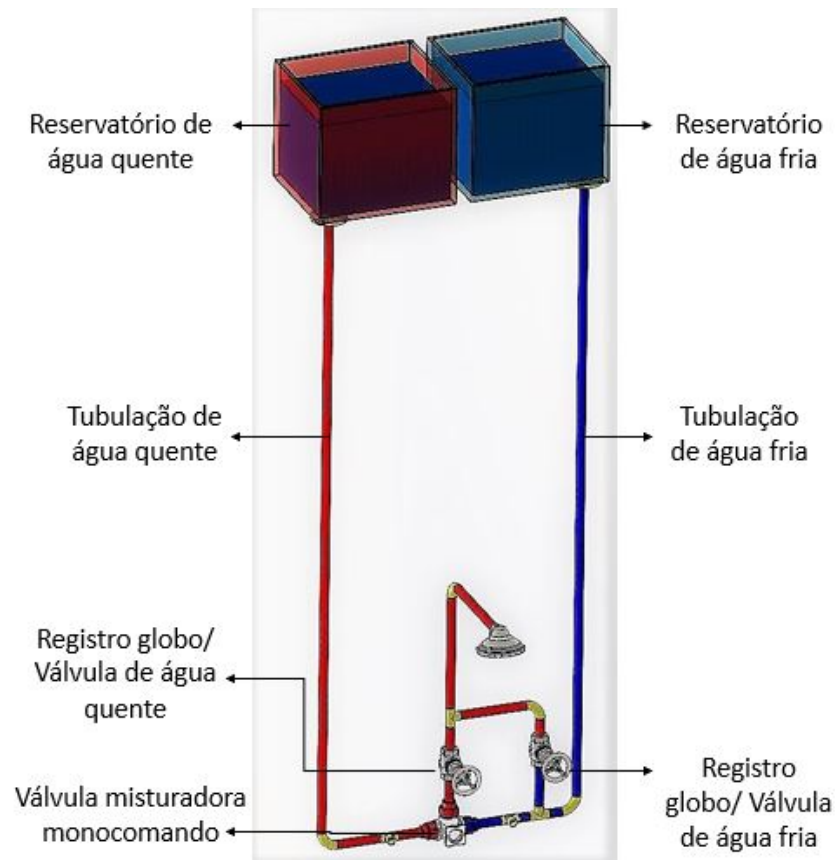
A relação de temperatura e entalpia consiste na criação prévia de um vetor (*array*) que armazena os valores de entalpia obtidos no *software INTERACTIVE THERMODYNAMICS* com posições relacionadas a valores de temperatura de 0 a 85°C com intervalo de $0,5^{\circ}\text{C}$ entre eles. O sistema ao interpretar o valor recebido do sensor busca os valores imediatamente acima e abaixo para a entalpia e seguidamente os interpola, gerando um valor preciso.

4.5 Montagem do Protótipo

Como previamente mencionado, o estudo objetiva ter como produto final uma bancada experimental para servir de objeto de estudo, o equivalente a prototipagem proposta por Norton (2013). Assim, planejou-se a montagem do sistema unindo partes hidráulicas e eletrônicas, nesta montagem foi levada em consideração desde a seleção e aquisição dos componentes. O planejamento do sistema hidráulico foi auxiliado pela modelagem CAD no *software SolidWorks*. Com base em critérios como altura mínima da coluna de água para o acionamento do diafragma e posicionamento confortável para operação dos registros a modelagem permitiu uma compreensão dos comprimentos de tubo em cada seção e do *layout* generalizado do protótipo, como ilustra a Figura 37.

Obtida as medidas básicas do projeto, foi afetuada a compra dos componen-

Figura 37: Modelagem ilustrativa do protótipo



Fonte: Autoria Própria

tes, alguns dos quais já especificados anteriormente. Os custos para aquisição dos equipamentos e montagem do própototipo são detalhados na Tabela 1 do Apêndice C.

O conjunto hidráulico com tubulações e acessórios foram montados em uma placa de MDF de $1850\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ e 15 mm de espessura, a qual foi posteriormente impermeabilizada. A Figura 38 mostra a montagem.

A Figura 39 mostra a instalação elétrica e a instrumentação do sistema com os componentes. Os sensores de temperatura, DS18B20, foram posicionados nas tubulações de água quente e fria e na saída do chuveirinho (vide Figura 41). A unidade de controle bem como o visor, teclado de comando, fonte de alimentação e *proto-board* foram armazenados em uma caixa também de MDF fixada na parte superior esquerda da chapa para sua proteção (conforme a Figura 40). A fiação requerida para alimentação de energia elétrica e transmissão de dados foi devidamente assentada, assim como o relé utilizado para acionamento da resistência. O servomotor foi acoplado a válvula monocomando.

Figura 38: Montagem primária, sistema hidráulico



Fonte: Autoria Própria

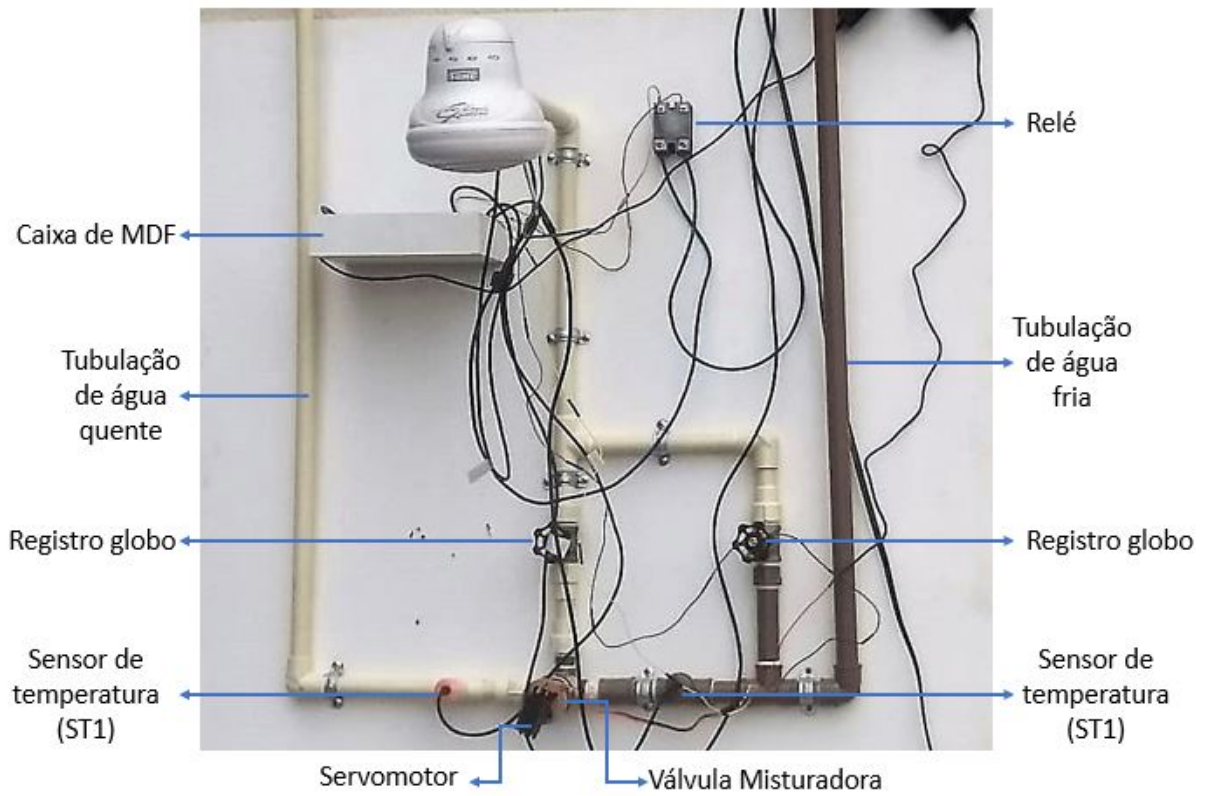
4.6 Testes do Sistema

Previamente a montagem, testes de aferição foram realizados nos equipamentos eletrônicos. Também mediu-se as temperaturas com os sensores e foram comparados com os resultados obtidos por um termômetro comercial, obtendo valores satisfatórios (diferença de $0,2^{\circ}C$). Os outros equipamentos foram testados individualmente com códigos de programa próprios para a certeza de seu funcionamento.

No primeiro teste de funcionamento do sistema, a temperatura ambiente local era de $27^{\circ}C$, e a temperatura da água quente de $46,75^{\circ}C$, aquecida com o uso de um fogão a gás. A temperatura requerida foi de $33,5^{\circ}C$. As tubulações foram preenchidos primeiro com água fria e o reservatórios com suas respectivas temperaturas (quente e frio). Os dados obtidos em intervalos de 500 milissegundos por meio do monitor de cristal líquido eram registrados, permitindo o acompanhamento das informações. O valor da fração de água quente presente na mistura se estabilizou a princípio em torno de 0,35 e se elevou com o passar do tempo, em decorrência do resfriamento da água quente na tubulação, conforme esta trocava calor com o ambiente.

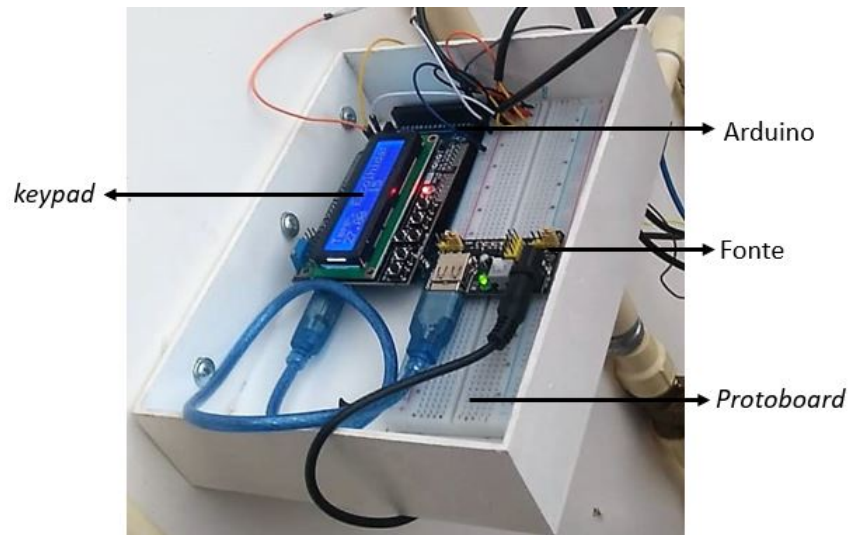
O erro pode ser determinado pela medição de $31,12^{\circ}C$ do ST3 localizado próximo a saída do chuveiro, e com o uso da Equação 4.12, sendo por volta de 7,13%.

Figura 39: Montagem instrumentada com sistema eletrônico



Fonte: Autoria Própria

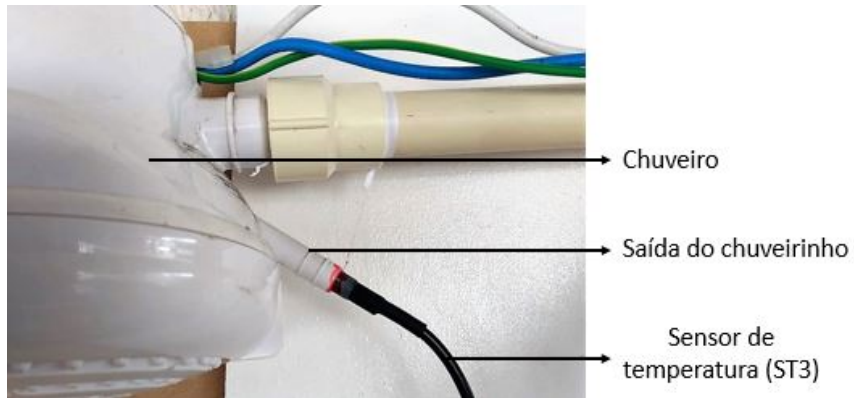
Figura 40: Disposição dos equipamentos de controle no suporte de MDF



Fonte: Autoria Própria

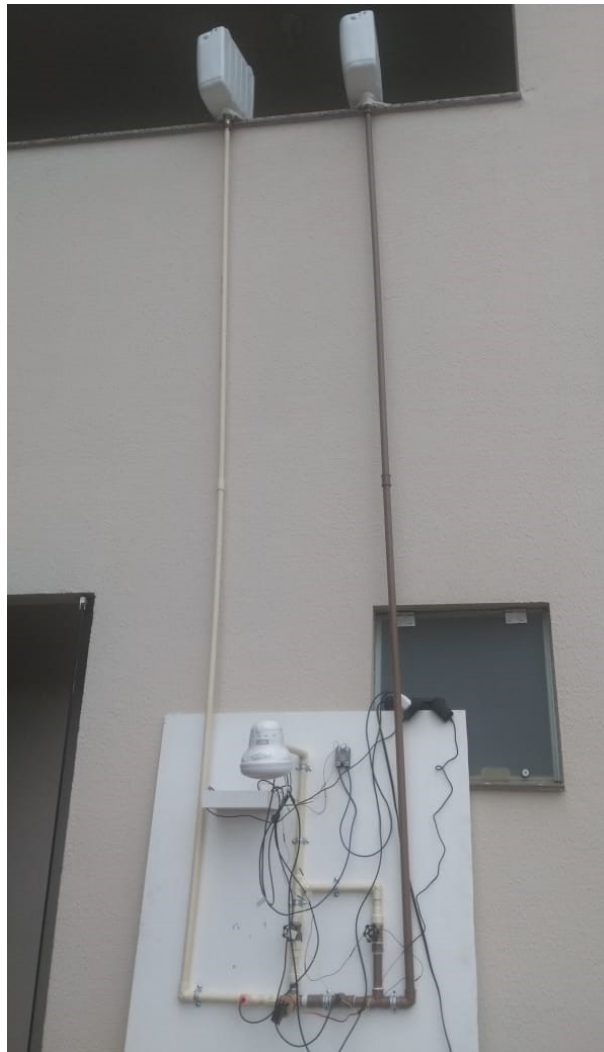
$$\%E = 100 \times \frac{T_R - T_b}{T_R} \quad (4.12)$$

Figura 41: Sensor de temperatura posicionado na saída do chuveirinho



Fonte: Autorial Própria

Figura 42: Montagem para testes do protótipo



Fonte: Autorial Própria

Outro teste foi realizado, tendo como diferença a temperatura da água quente

de $47,75^{\circ}\text{C}$ e temperatura requerida de 51°C , ou seja, $T_q < T_R$. Sendo assim, o teste pode verificar a total abertura da água quente e o correto acionamento da resistência elétrica.

A Figura 43 mostra o acionamento do relé, evidenciado pelo LED indicativo, comprova a eficácia do subsistema.

Figura 43: Acionamento da resistência elétrica por meio do relé



Fonte: Autoria Própria

5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O sistema proposto mostrou-se viável em termos de usabilidade, funcionalidade e construção. Os componentes selecionados atenderam suas respectivas demandas e exerceram um desempenho satisfatório como conjunto, isto é, sua compatibilidade foi fator determinante para o bom resultado final.

O protótipo executou como previstas as ações de ambos os subsistemas, ou seja, o controle da mistura de água e o acionamento da resistência. A automatização do controle na mistura de água, propiciou que se chegasse a temperatura desejada para banho de forma mais rápida, proporcionando maior conforto térmico ao usuário, enquanto o controle da resistência propiciou o aproveitamento da água fria presente na tubulação e economia de energia enquanto se utiliza a água quente proveniente de aquecedores alternativos.

O sistema se adaptou as variações de temperatura de forma eficaz em relação ao controle manual ou demais sistemas (os quais avaliam a temperatura da mistura como parâmetro de controle), agilizando o período de ajuste da temperatura. A implementação do arduino propiciou a automatização do sistema de forma eficaz.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o estudo de viabilidade e implantação de um mecanismo de controle de potência da resistência quando acionada para um ajuste mais fino da temperatura.

Uma outra sugestão seria a pressurização do chuveiro para aplicações onde se dispõe de pequena coluna d'água.

Poder-se-ia também, projetar um acoplamento motor-válvula passível de fabricação seriada; organizar os componentes e conexões eletrônicas em circuito impresso para aumentar eficiência do *layout* e da instalação; elaborar uma instalação com maior ergonomia e desenvolver componentes para proteção dos acessórios. Tais melhorias possibilitariam a o processo de produção e comercialização do sistema, sendo assim, torna-se também uma sugestão a realização de uma análise de viabilidade econômica do sistema.

REFERÊNCIAS

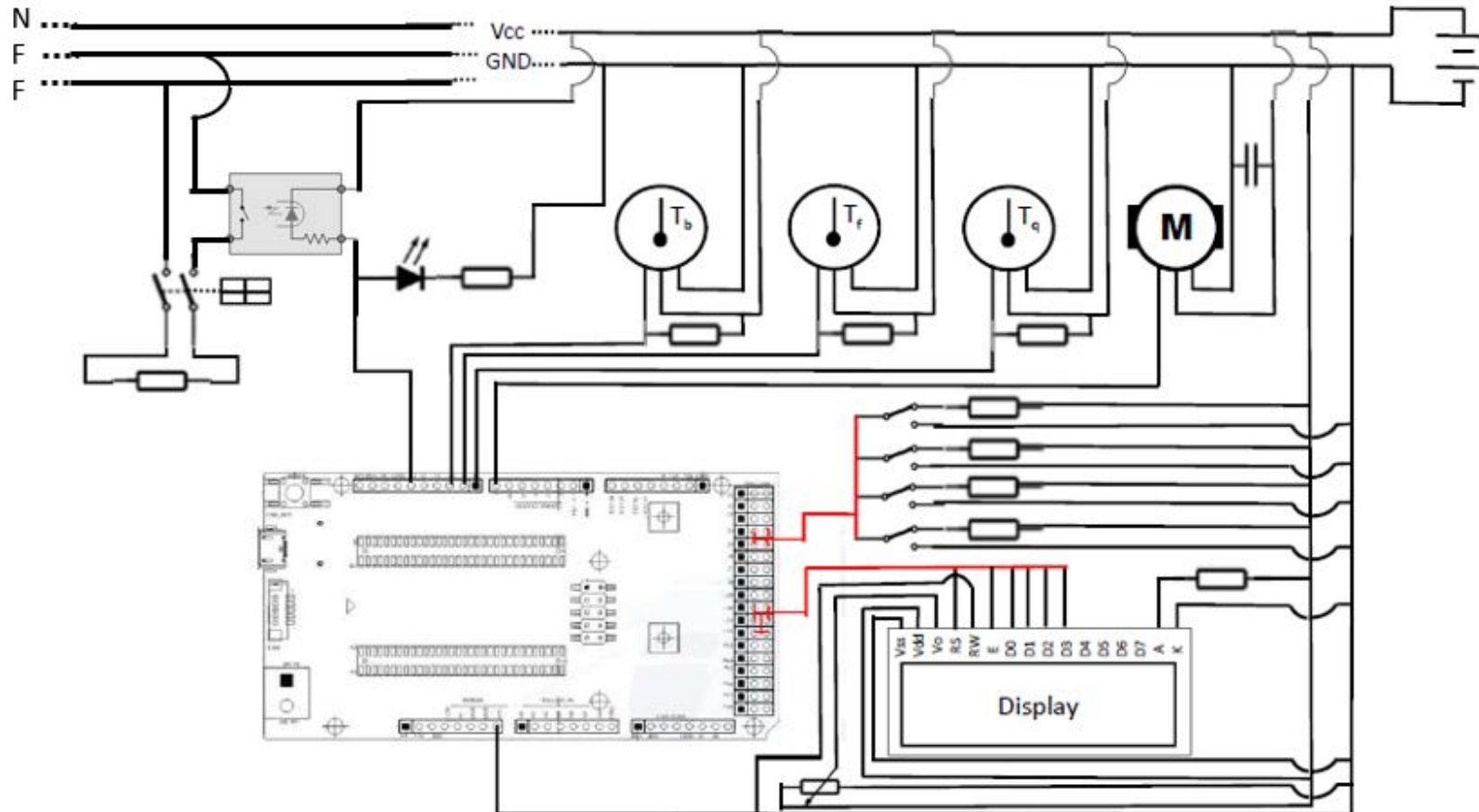
- ACOSTA, S. M. **Instrumentos Finais de Controle**. Curitiba - PR, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 33.
- ANALOGICA INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE LTDA. **Termistores**. Belo Horizonte/MG, 2013. Citado na página 38.
- ANDREA, C. Q. et al. Controle ótimo h de sistemas não-lineares com modelos fuzzy takagi-sugeno. **Revista Controle & Automação**, SciELO Brasil, v. 19, n. 3, p. 256–269, 2008. Citado na página 29.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL, BCB. **Dólar Americano**. Brasília/DF, 2018. Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>>. Acesso em: 18 out. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 83.
- BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008. Citado na página 23.
- BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. d. A. **Motor de passo**. Niterói/RJ: Pet Tele Universidade Federal Fluminense, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 39, 40 e 54.
- C-THERM, TECHNOLOGIES. **Measuring the Thermal Conductivity of Chlorinated Polyvinyl Chloride (CPVC)**. Fredericton, New Brunswick/ Canada, 2018. Disponível em: <https://ctherm.com/resources/blog/measuring_the_thermal_conductivity_of_chlorinated_polyvinyl_chloride_cpvc_a/>. Acesso em: 19 out. 2018. Citado na página 30.
- CIRRA, CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DA ÁGUA. **Estudo do CIRRA/USP acaba definitivamente com fama de vilão do chuveiro elétrico**. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2009. Citado na página 23.
- DO BIT AO BYTE. **Controle de servomotores com PIC**. 2016. Disponível em: <<https://www.dobitaobyte.com.br/control-de-servo-motor-com-pic/>>. Acesso em: 31 out. 2018. Citado na página 40.
- FAME. **Eletrobomba**: Jato forte (pressurizador). São Paulo - SP, 2018. Citado na página 35.
- HABITISSIMO. **Chuveiro Híbrido**: Água quente sempre. 2018. Disponível em: <https://fotos.habitissimo.com.br/foto/chuveiro-hibrido-agua-quente-sempre_691097>. Acesso em: 10 mai. 2018. Citado na página 25.
- HACHOUCHE, A. S. **Apostila**: Arduíno básico. Belo Horizonte - MG, 2018. Citado na página 37.
- IDRAL. **Manual de Montagem**: Válvula monocomando. São Paulo - SP, 2018. Citado na página 32.
- LORENZETTI. **Maxi Ducha**. 2018. Disponível em: <http://www.lorenzetti.com.br/pt/Detalhes_Produto.aspx?id=258>. Acesso em: 31 mai. 2018. Citado na página 34.

- MELO, L. F. **Sensores de temperatura: Termopares**. Londrina/PR: Universidade Estadual de Londrina - UEL, 2013. Citado na página 37.
- MONTU, T. M. S. **Estudo comparativo de sistema residenciais de aquecimento de água**. 39 p. — Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2016. Citado na página 33.
- NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 43, 45 e 60.
- PASETTI, G. O. **Automação e otimização energética de uma unidade de aquecimento solar doméstica**. 131 p. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- PILATTI, L. A. D. **Controle da Temperatura e Vazão de um Chuveiro Usando Lógica Fuzzy**. Florianópolis, SC., 2012. Citado 5 vezes nas páginas 26, 27, 28, 29 e 33.
- RIBEIRO, A. C. **Curso de Tubulações Industriais**. Lorena/SP, 2018. Citado na página 30.
- RIBEIRO, M. I. Sensores em robótica. **Enciclopédia Nova Activa Multimédia, Volume de Tecnologias**, Lisboa, Portugal, p. 228–229, 2004. Citado na página 37.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006. Citado na página 45.
- SANTOS, A. **Servomotores**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- SILVA, G. V. M. d. **Termopares: Dispositivos utilizados para medir temperatura**. Setubal, Portugal, 2018. Citado na página 38.
- SONNTAG, R. E. et al. **Fundamentals of thermodynamics**. [S.I.]: Wiley New York, 1998. v. 6. Citado na página 58.
- SOUZA, R. d. L. **Automatização de chuveiro com misturador de água quente/fria através de controle de temperatura e vazão da água**. 86 p. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso) — Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- SOUZA, T. M. X. d. Estudo comparativo entre as plataformas arduino e pic. **Universidade Paranaense**, Paranavaí - PR, p. 5, 2014. Citado na página 36.
- URBANO, E. **Aquecedor solar de água feito com tubos de PVC: Manual de construção e instalação**. San José, Califórnia, EUA, 2012. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/solar/aquecedor/aquecedor-solar.htm>>. Acesso em: 19 set. 2018. Citado na página 32.

Apêndices

APÊNDICE A – DIAGRAMAS DE MONTAGEM

Figura 44: Diagrama Elétrico do Sistema



Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – ESTRUTURAÇÃO DA ROTINA COMPUTACIONAL

```

//Inclusão de bibliotecas
#include <EEPROM.h>
#include <Servo.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>

#define pinServo 16      //Porta digital do servo-motor
#define Resist 15       //Porta digital do Relé-Resistência

#define ONE_WIRE_BUS 18 //Porta digital sensores DS18B20
#define TEMPERATURE_PRECISION 11 //Resolução da temperatura em 9 bits

//4Kb de Espaço de armazenamento na EEPROM do Arduino Mega 2560
#define SpaceEEPROM 4000
//Posição de armazenamento da temperatura requerida anterior na EEPROM
#define pT_esc 0

#define rs 8           //Portas digitais do display
#define e 9            //
#define d4 4           //
#define d5 5           //
#define d6 6           //
#define d7 7           //

#define btnRead A0     //Porta analogica p/ leitura dos botões
#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5

Servo servo;          //Criação objeto para o servo motor
LiquidCrystal LCD(rs, e, d4, d5, d6, d7); //Criação objeto para o visor

```

```

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);    //Criação objetos para os sensores
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress ST1, ST2, ST3;

//Criação de variáveis
float valTerm1;                    // Armazena Temperatura no Termopar 1
float valTerm2;                    // Armazena Temperatura no Termopar 2
float valTerm3;                    // Armazena Temperatura no Termopar 3
float valAng_Servo;                // Armazena o ângulo do servo
float x1, x2, x_esc;               // Variáveis para uso em cálculo
float Err;                          //
int x1a, x2a, x_esc_a;             //
int x1b, x2b, x_esc_b;             //
int i = 0, j = 0;
int R;                              // Armazena o estado da resistência
int lcd_key    = 0;                // Armazenam o estado dos botões
int adc_key_in = 0;                //

float FracAQ;                       // Armazena a fração caçculada de água quente
float TempEscolhida;                // Armazena a temperatura escolhida pelo usuário
float h1, h2, h_esc;                // Variáveis para uso em cálculos
float h1a, h2a, h_esc_a;
float h1b, h2b, h_esc_b;
// Vetor que armazena os valores de entalpia da água de zero a 86 C
float Entalpia[191]=
{0.000, 1.988, 4.027, 6.070, 8.114, 10.16, 12.21, 14.26, 16.31, 18.37, //
20.43, 22.49, 24.55, 26.61, 28.68, 30.74, 32.81, 34.88, 36.96, 39.03, //
41.1, 43.18, 45.26, 47.34, 49.42, 51.5, 53.59, 55.67, 57.76, 59.85, //
61.93, 64.02, 66.12, 68.21, 70.30, 72.40, 74.49, 76.59, 78.68, 80.78, //
82.88, 84.98, 87.08, 89.18, 91.28, 93.38, 95.49, 97.61, 99.72, 101.8, //
103.9, 106.0, 108.1, 110.2, 112.4, 114.5, 116.6, 118.7, 120.8, 122.9, //
125.0, 127.1, 129.2, 131.3, 133.5, 135.6, 137.7, 139.8, 141.9, 144.0, //
146.1, 148.2, 150.3, 152.5, 154.6, 156.7, 158.8, 160.9, 163.0, 165.1, //
167.2, 169.4, 171.5, 173.6, 175.7, 177.8, 179.9, 182.0, 184.1, 186.3, //
188.4, 190.5, 192.6, 194.7, 196.8, 198.9, 201.0, 203.1, 205.3, 207.4, //
209.5, 211.6, 213.7, 215.8, 217.9, 220.0, 222.1, 224.2, 226.3, 228.5, //
230.6, 232.7, 234.8, 236.9, 239.0, 241.1, 243.2, 245.3, 247.4, 249.5, //
251.6, 257.9, 260.0, 262.1, 264.3, 266.4, 268.5, 270.6, 272.7, 274.8, //
276.9, 279.0, 281.1, 283.2, 285.3, 287.4, 289.5, 291.6, 293.7, 295.8, //

```

```

297.9, 300.0, 302.1, 304.2, 306.3, 308.4, 310.5, 312.6, 314.7, 316.8, //
318.9, 321.0, 323.1, 325.2, 327.3, 329.4, 331.5, 333.6, 335.7, 337.8, //
339.8, 341.9, 344.0, 346.1, 348.2, 350.3, 352.4, 354.5, 356.6, 358.7, //
360.8, 362.9, 365.0, 367.1, 369.2, 371.3, 373.4, 375.5, 377.6, 379.7, //
381.8, 383.9, 386.0, 388.0, 390.1, 392.2, 394.3, 396.4, 398.5, 400.6, 402.7};

void setup() {
  // Parte do código executada somente ao iniciar
  Serial.begin(9600);
  LCD.begin(16,2);
  pinMode(Resist, OUTPUT);
  digitalWrite(Resist, LOW);

  //Limpeza da EEPROM executada uma única vez e transformado em comentários
  //for(i = 0; i <= SpaceEEPROM; i++){
  //  EEPROM.write(i, 0);
  //}
  //EEPROM.write(pT_esc, 36);

  servo.attach(pinServo);

  sensors.begin();
  sensors.getAddress(ST1, 0);
  sensors.getAddress(ST2, 1);
  sensors.getAddress(ST3, 2);
  static int ST_1[]={0x28,0xFF,0xAC,0xD0,0x24,0x17,0x03,0x31};//28FFACD024170331
  static int ST_2[]={0x28,0xFF,0xD3,0xE6,0x80,0x14,0x02,0x11};//28FFD3E680140211
  static int ST_3[]={0x28,0xFF,0xAF,0x18,0x25,0x17,0x03,0xF1};//28FFAF18251703F1
  sensors.setResolution(ST1, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(ST2, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(ST3, TEMPERATURE_PRECISION);

  FracAQ = 1;
  TempEscolhida = EEPROM.read(pT_esc);

}

// Leitura do estado dos Botões

```

```

int read_LCD_buttons()
{
  adc_key_in = analogRead(btnRead);
  // Botões centrados em: 0, 144, 329, 504, 741
  if (adc_key_in > 1000) return btnNONE;
  if (adc_key_in < 50)   return btnRIGHT;
  if (adc_key_in < 250)  return btnUP;
  if (adc_key_in < 450)  return btnDOWN;
  if (adc_key_in < 650)  return btnLEFT;
  if (adc_key_in < 850)  return btnSELECT;

  return btnNONE; //
}

void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
  float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
  Serial.print("Temp C: ");
  Serial.print(tempC);
}

void loop() {
  // Parte do código em permanente repetição de execução

  // Leitura do valor de temperatura
  sensors.requestTemperatures();

  valTerm1 = sensors.getTempC(ST1);
  valTerm2 = sensors.getTempC(ST2);
  valTerm3 = sensors.getTempC(ST3);

  lcd_key = read_LCD_buttons(); // Leitura do estado dos botões

  switch (lcd_key) // Associação dos comandos a consequências
  {
    case btnRIGHT: //Retorno sob comando do valor da temperatura real de banho e
// do erro calculado
    {
      LCD.clear();
      LCD.print("Temp Real");
    }
  }
}

```



```

    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print(valTerm3);
    LCD.setCursor(11, 0);
    LCD.print("Erro");
    LCD.setCursor(11, 1);
    LCD.print(Err);
    break;
}

case btnLEFT: //Retorno sob comando da fração de água quente e
//o estado da resistência (1 = Lig. / 0 = Desl.)
{
    LCD.clear();
    LCD.print("FracAQ");
    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print(FracAQ);
    LCD.setCursor(8, 0);
    LCD.print("Resist.");
    LCD.setCursor(8, 1);
    LCD.print(R);
    break;
}

case btnUP: // Regulagem de temperatura
{
    LCD.clear();
    LCD.print("Temp. Escolhida:");
    LCD.setCursor(0, 1);
    TempEscolhida = TempEscolhida+0.5;
    LCD.print(TempEscolhida, DEC);
    break;
}

case btnDOWN: // Regulagem de temperatura
{
    LCD.clear();
    LCD.print("Temp. Escolhida:");
    LCD.setCursor(0, 1);
    TempEscolhida = TempEscolhida-0.5;
    LCD.print(TempEscolhida, DEC);
    break;
}

```

```

case btnSELECT://Retorno sob comando de Tq e Tf
{
  LCD.clear();
  LCD.print("ST1");
  LCD.setCursor(0, 1);
  LCD.print(valTerm1, DEC);
  LCD.setCursor(8, 0);
  LCD.print("ST2");
  LCD.setCursor(8, 1);
  LCD.print(valTerm2);
  break;
}
case btnNONE://Retorno da temperatura requerida caso não haja comando
{
  LCD.clear();
  LCD.print("Temp. Escolhida:");
  LCD.setCursor(0, 1);
  LCD.print(TempEscolhida);
  LCD.setCursor(8, 1);
  LCD.print(millis() / 1000);
  break;
}
}

//Retorno de informações pelo monitor serial
Serial.print("ST1  ");
Serial.println(valTerm1, DEC);
Serial.print("ST2  ");
Serial.println(valTerm2, DEC);
Serial.print("ST3  ");
Serial.println(valTerm3, DEC);
Serial.print("FracAQ  ");
Serial.println(FracAQ, DEC);
Serial.print("valAng_Servo  ");
Serial.println(valAng_Servo, DEC);
Serial.print("TempEscolhida  ");
Serial.println(TempEscolhida, DEC);
Serial.print("Erro  ");
Serial.println(Err);
Serial.print("Resist  ");

```

```
Serial.println(R);
Serial.println();

//Cálculo de fração de água quente necessária
x1 = int(2*valTerm1);
x1a = int(2*valTerm1 + 0.5);
x1b = int(2*valTerm1 - 0.5);
h1a = Entalpia[x1a];
h1b = Entalpia[x1b];
//
x2 = int(2*valTerm2);
x2a = int(2*valTerm2 + 0.5);
x2b = int(2*valTerm2 - 0.5);
h2a = Entalpia[x2a];
h2b = Entalpia[x2b];
//
x_esc = int(2*TempEscolhida);
x_esc_a = int(2*TempEscolhida + 0.5);
x_esc_b = int(2*TempEscolhida - 0.5);
h_esc_a = Entalpia[x_esc_a];
h_esc_b = Entalpia[x_esc_b];
//
h1 = map(x1, x1a, x1b, h1a, h1b);
h2 = map(x2, x2a, x2b, h2a, h2b);
h_esc = map(x_esc, x_esc_a, x_esc_b, h_esc_a, h_esc_b);
FracAQ = (h_esc-h2)/(h1-h2);

// Proteção contra equívocos matemáticos
if(FracAQ > 1){
  FracAQ = 1;
} if(FracAQ < 0){
  FracAQ = 0;
}

// Interpolação de fração de água para ângulo do servo e atuação do mesmo
valAng_Servo = (FracAQ*(90)+45);
servo.write(valAng_Servo);

// Controle de acionamento do resistor
```

```
if (valTerm1 < (TempEscolhida - 2)){
    digitalWrite(Resist, HIGH);
    R = 1;
}else{
    digitalWrite(Resist, LOW);
    R = 0;
}

//Cálculo do erro[%]
Err = 100*(TempEscolhida - valTerm3)/TempEscolhida;

//Redefinição dos estados anteriores dos botões
preCIMA = EstCIMA;
preBAIXO = EstBAIXO;

//Redefinição na EEPROM da temperatura requerida prévia
i = int(TempEscolhida);
EEPROM.write(pT_esc, i);

// Intervalo de execução do laço para coincidir com execuções físicas
delay(500);
}
```

APÊNDICE C – TABELAS INFORMATIVAS

Tabela 1: Custo dos componentes da bancada do sistema - Com base no Banco Central do Brasil, BCB (2018) em 18/10/2018, US\$1,00 igual a R\$3,6957

Item	Custo em Dólar (US\$)	Custo em Reais (R\$)
Válvula Monocomando	40,56	149,90
Arduíno e Acessórios	79,80	294,90
Sensores de Temperatura	14,03	51,85
Servomotor	34,87	128,89
Keypad	14,24	52,65
Relé	28,11	103,90
Cano, Conexões e Registros Gaveta	135,89	502,20
Placa de MDF	25,71	95,00
Impermeabilizante e acabamento	14,88	55,00
Fiação e acessórios	11,77	43,49
Total	399,86	1477,78

Fonte: Autoria própria.