



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Deivid Walendorff

**Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Temperatura da Água em
Bebedouro para Gado Leiteiro**

Florianópolis
2021

Deivid Walendorff

**Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Temperatura da Água em
Bebedouro para Gado Leiteiro**

Relatório final da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) como Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis.

Orientador: Prof. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira
Supervisor: Prof. Diego Peres Netto

Florianópolis
2021

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Deivid Walendorff

**Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Temperatura da Água em
Bebedouro para Gado Leiteiro**

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina DAS5511 (Projeto de Fim de Curso) e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Florianópolis, 28 de setembro de 2021.

Prof. Hector Bessa Silveira, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira
Orientador no Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diego Peres Netto
Supervisor do projeto
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rodolfo César Costa Flesch
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo José Rabelo
Presidente da Banca
Universidade Federal de Santa Catarina

***Aos meus familiares,
amigos e especialmente, à
minha mãe e à
minha namorada pelo
apoio e incentivo.***

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ambiente criativo e por possibilitar a intensa troca de conhecimento.

Ao meu orientador Prof. Marcelo De Lellis Costa de Oliveira, por disponibilizar do seu tempo para ajudar, compartilhar do seu conhecimento e orientar o trabalho.

Ao meu supervisor Prof. Diego Peres Netto, por disponibilizar do seu tempo para ajudar, compartilhar do seu conhecimento e orientar o trabalho.

Ao Renato Kohl por abrir as portas da sua propriedade e acreditar nas minhas competências para fazer o trabalho.

À minha família, que sempre me apoiou nas minhas decisões e me deu todo suporte durante a minha jornada acadêmica.

E aos meus amigos, que tornaram as experiências vivenciadas neste período de faculdade algo marcante na minha vida.

RESUMO

Resumo: O consumo da água para os animais é fundamental para a qualidade de vida do gado leiteiro. Nas pesquisas e indicações de profissionais da área, afirma-se que a temperatura da água afeta a quantidade de água consumida por esses animais. Sendo assim, exclusivamente para o gado existe uma faixa de temperatura da água que os animais preferem por questões biológicas e da sua anatomia. No entanto, existe uma alta variação de temperatura da água em ambiente aberto por questões geográficas das propriedades rurais e, para o bem-estar do animal, seria importante poder controlar essa temperatura. Assim, neste trabalho foi feito o desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura de água em bebedouro para o gado leiteiro. Buscou-se fazer da maneira mais acessível possível. Com isso foi possível avaliar a diferença do consumo de água dos animais entre o bebedouro de água com controle de temperatura e um bebedouro em temperatura ambiente, verificando-se também o impacto na produção de leite e outros benefícios.

Palavras-Chave: Controle de temperatura. Aquecimento solar. Produção de leite.

ABSTRACT

Water consumption for animals is essential for the quality of life of dairy cattle. In research and indications from professionals in the area, it is stated that the water temperature affects the amount of water consumption by these animals. Thus, exclusively for cattle there is a range of water temperature that animals prefer for biological and anatomy reasons. However, there is a high variation in the temperature of the water in the open environment due to geographical reasons of the rural properties and, for the animal well-being, it would be important to be able to control this temperature. Thus, in this work, the development of a water temperature control system in a drinking water for dairy cattle was carried out. Was sought to make it as accessible as possible. With this, it was possible to evaluate the difference in the animals' water consumption between a water drinker with temperature control and a drinker at room temperature, also verifying the impact on milk production and other benefits.

Keywords: Keyword temperature control. Keyword production of milk. Keyword solar heater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de aquecedores solares de baixo custo.	17
Figura 2 – Sistema ASBC formado por placa de PVC.	18
Figura 3 – Principais componentes de um sistema ASBC.	19
Figura 4 – Representação de sistema	19
Figura 5 – Sistema em Malha Aberta.	20
Figura 6 – Sistema em Malha Fechada.	20
Figura 7 – Válvula solenoide.	22
Figura 8 – Termopar tipo J.	23
Figura 9 – Ilustração do controle Liga-Desliga.	25
Figura 10 – Histerese.	26
Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema realimentado.	27
Figura 12 – Desenvolvimento Incremental.	31
Figura 13 – Lógica de funcionamento do bebedouro automatizado.	35
Figura 14 – Exemplo de bebedouro tradicional.	36
Figura 15 – Desenho esquemático representando o projeto.	37
Figura 16 – Estrutura do painel solar.	38
Figura 17 – ASBC.	38
Figura 18 – Bebedouro.	39
Figura 19 – Microcontrolador Atmega328 Arduino UNO.	40
Figura 20 – Proteção no bebedouro em madeira.	41
Figura 21 – Módulo sensor de temperatura MAX6675.	42
Figura 22 – Temporizador analógico programável.	43
Figura 23 – Painel de comando.	43
Figura 24 – Hidrômetro.	44
Figura 25 – Variável de processo com controle ON/OFF.	48
Figura 26 – Variável manipulada sob controle ON/OFF.	48
Figura 27 – Variável de processo sob controle P.	49
Figura 28 – Variável manipulada sob controle P.	50
Figura 29 – Variável de processo com controle PI ajustado.	50
Figura 30 – Variável manipulada com controle PI ajustado no frio.	51
Figura 31 – Variável de processo sob controle PI com as válvulas, sendo nível 1 igual vazio e nível 0 igual cheio.	52
Figura 32 – Variável manipulada sob controle PI com as válvulas, sendo Válv. em 1 igual ligada e Válv. em 0 igual desligada.	53
Figura 33 – Pertubação no sistema do controle PI com as válvulas, , sendo nível 1 igual vazio e nível 0 igual cheio.	54

Figura 34 – Pertubação no sistema do controle PI com as válvulas, sendo Válv. em 1 igual ligada e Válv. em 0 igual desligada.	55
Figura 35 – Dados coletados em valores médios por animal.	55
Figura 36 – Dados do Consumo de Água.	56
Figura 37 – Dados Produção de Leite.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sintonia de PID por Ziegler-Nichols usando ganho crítico K_C e período de oscilação T_C	29
Tabela 2 – Sintonia de PID por Ziegler-Nichols usando curva de reação caracterizada por retardo no tempo, T_d , e taxa de reação R	30
Tabela 3 – Parâmetros PID - Tyreus-Luyben.	30
Tabela 4 – Objetivos e resultados com a implementação do sistema.	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.2	LOCAL DE TESTES	14
1.2.1	Propriedade Rural	14
1.2.2	Condições Climáticas	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	AQUECIMENTO SOLAR	17
2.1.1	Tipos de aquecedores solares de baixo custo	17
2.1.2	Funcionamento de um aquecedor solar de baixo custo	18
2.2	SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA	18
2.2.1	Definições	18
2.2.2	Instrumentação	20
2.2.3	Medição de Nível	21
2.2.4	Válvula de controle	21
2.2.5	Controle de temperatura	22
2.3	EFEITO DA TEMPERATURA DA ÁGUA PARA O GADO LEITEIRO	23
2.4	AÇÕES BÁSICAS DE CONTROLE	25
2.4.1	Liga-Desliga (On/Off)	25
2.4.2	Proporcional-Integral-Derivativo	26
2.4.2.1	Anti-Windup	28
2.5	MÉTODO DE SINTONIA DE CONTROLADORES PID	29
2.5.1	Método de Sintonia de Ziegler-Nichols	29
2.5.2	Método de sintonia de Tyreus-Luyben	30
2.6	METODOLOGIA DE PROJETO	31
3	PROJETO DO BEBEDOURO AUTOMATIZADO	33
3.1	REQUISITOS DO SISTEMA	33
3.2	DIAGRAMA DE FLUXO DO SISTEMA AUTOMATIZADO	34
3.3	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA AUTOMATIZADO	34
3.4	CONTROLE	44
3.4.1	Liga-Desliga (On/Off)	44
3.4.2	Ação Proporcional	45
3.4.3	Ação Proporcional-Integral	45
3.4.4	Manejo do Gado Leiteiro	46
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	47
4.1	CONTROLE LIGA-DESLIGA	47
4.2	AÇÃO PROPORCIONAL	47
4.3	AÇÃO PROPORCIONAL-INTEGRAL	49

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	59
	APÊNDICE A – CIRCUITO ELÉTRICO	65
	APÊNDICE B – TABELA DE COMPONENTES DO PROJETO . . .	66
	APÊNDICE C – CÓDIGO DO CONTROLADOR ATMEGA328 EM	
	 C/C++	71
	APÊNDICE D – TABELA DE PRODUTIVIDADE DO GADO LEITEIRO	75

1 INTRODUÇÃO

A água é um nutriente de extrema importância para os animais e deve ser considerada vital em qualquer fase de criação, sendo a substância de maior participação nos organismos dos seres vivos. Justamente por ser um insumo de mais fácil obtenção, os produtores de gado leiteiro costumam não dar a devida atenção ao fornecimento de água aos animais. O consumo de água é regulado por fatores extrínsecos, como a temperatura ambiente, a temperatura da água, a umidade relativa e o consumo de sódio, e também por fatores intrínsecos, como a produção de leite e o peso corporal (NUTRITIME, 2016).

No entanto, a falta do fornecimento de água adequado pode levar a uma série de problemas na produção animal. O fornecimento inadequado pode gerar a queda da produção de leite, baixo ganho de peso, dificultar a regulação térmica e aumentar a incidência de doenças. Dessa forma, para se obter lucro na produção de leite bovino é necessário que os produtores atendam essas necessidades dos animais e tomem medidas para eliminar as adversidades do meio ambiente (NUTRITIME, 2016).

Um sucesso no manejo nutricional depende do fornecimento de água suficiente ao animal para que sua necessidade hídrica seja atendida por meio de ingestão voluntária. No entanto, esta necessidade de água é de difícil determinação pois envolve um balanço hídrico, tal que a ingestão de água deve atender a perda total de água e a água retida (NRC, 2007).

A relação do consumo de água e o consumo de matéria seca (CMS) recebe um destaque dentre os fatores, pois esta relação pode ser alterada conforme o consumo de água fria ou forragem gelada de pastejo, gerando os efeitos de redução transitórias na temperatura do conteúdo ruminal (NRC, 2007). Para o autor Lanham et al. (1986), os animais domésticos alteram o consumo de água com base na temperatura da água, ou seja, bebem em maior quantidade a água em temperaturas mais quentes do que mais frias.

Nesse contexto, o consumo adequado de água é ainda mais notório ao identificar que as vacas em lactação requerem grande quantidade de água. Isso ocorre porque a água está diretamente ligada ao peso corporal, ao consumo de matéria seca e ao nível de produção de leite, sendo que 87% do volume do leite é água (HERRERO, 1998). Os produtores que se atentam ao fornecimento adequado de água estão mais próximos de um bom manejo e de proporcionar o bem-estar aos animais. Em suma, a água é necessária para todos os processos vitais. Múltiplos fatores afetam a ingestão de água, como condição fisiológica do animal, disponibilidade hídrica, qualidade da água, temperatura ambiente e temperatura da água ofertada (NRC, 1981).

Nos últimos anos, o mercado de produção de leite tem estado em um constante crescimento, auxiliado pelo desenvolvimento tecnológico no setor. De fato, os avanços

vêm focando, principalmente, na área de nutrição, porém deixado de dar a devida atenção para o principal nutriente na alimentação do gado leiteiro: a água. Frente ao desafio de criar condições que favoreçam o consumo adequado de água, buscando evitar perdas nos sistemas de produção de leite e gerar um melhor bem-estar aos animais, este Projeto de Fim de Curso trata do desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura da água no bebedouro para o gado leiteiro.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de controle de temperatura da água em bebedouro para gado leiteiro e utilizar um sistema de aquecedor solar, também a desenvolver, como fonte de água quente para implementação em uma propriedade rural.

Além disso, manter a água do bebedouro do gado leiteiro aquecida, de acordo com a faixa de temperatura adequada à anatomia dos animais, bem como viabilizar um maior consumo de água pelo gado em épocas de frio, condição climática da região que se prevalece por questões geográficas.

Espera-se, com a implementação desses sistemas, viabilizar um produto que favoreça o consumo adequado de água para o gado leiteiro, tornando possível um melhor bem-estar dos animais e maior lucro na produção do sistema leiteiro.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- entender e encontrar um local acessível na propriedade rural para a instalação dos sistemas;
- estabelecer os principais benefícios e condições adequadas de consumo de água do gado leiteiro;
- desenvolver um sistema de aquecimento solar como fonte de água quente;
- desenvolver um sistema de controle de temperatura da água no bebedouro do gado;
- verificar se há diferença no consumo de água sem e com controle de temperatura.

1.2 LOCAL DE TESTES

1.2.1 Propriedade Rural

A propriedade rural em que a solução foi testada é a da família Kohl, localizada na Linha Aterro Alto da cidade de Xanxerê-SC, sendo Renato Kohl o representante agri-

cultor e produtor de gado leiteiro. A família está na propriedade desde 1965 realizando diversas atividades agrícolas para sua subsistência.

Nas últimas décadas, sua atividade agrícola principal era a avicultura. Porém, em 2018 cancelaram esta atividade para focar no ramo da produção de leite com gado leiteiro. Desde então, buscam sempre acompanhar os avanços tecnológicos do setor, seguir os padrões de qualidade exigidos no mercado e também melhorar a sua produção.

O produtor de gado leiteiro tem formação como técnico agrícola e, recentemente, tem dedicado seus esforços na produção de gado de leite. Com a competência nos seus trabalhos, vem crescendo o seu rebanho e ampliando suas capacidade e habilidades desse sistema para aumentar a produção de leite, buscando sempre atender as exigências de qualidade do mercado.

Atualmente, a produção de gado leiteiro da família Kohl está com um rebanho de 25 animais da raça Holandesa. Sendo 16 animais em lactação e 9 vacas leiteiras durante o período seco. Além disso, a propriedade atualmente tem capacidade de produzir sete mil litros de leite por mês, fazendo com que seja um dos melhores números de produção desde o início dos trabalhos neste ramo.

A propriedade passa por um período de melhorias de operação, saindo do antigo modelo mecanizado de ordenha ao pé para o modelo de ordenha mecanizada tipo espinha de peixe. Neste processo, o produtor faz a limpeza e a inserção dos equipamentos dentro de um fosso e as vacas ficam posicionadas na diagonal em relação ao fosso. Além disso, outro aperfeiçoamento estabelecido é a realização da produção com o gado leiteiro em confinamento. Dessa forma, almeja-se uma produção ainda mais intensiva e um maior controle de consumo de insumos por animal.

1.2.2 Condições Climáticas

Em Xanxerê, com base nos dados fornecidos pela EPAGRI/CIRAM AGROCONNECT (Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina / Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina), o verão tem um período longo, morno e úmido. Já o inverno apresenta ser um período curto e ameno. Ao longo do ano a temperatura ambiente varia de 11 °C a 28 °C e eventualmente com temperaturas abaixo de 4 °C e acima de 31 °C.

Além disso, na última década não só a cidade de Xanxerê, como também as demais cidades da região apresentaram temperaturas ambiente médias abaixo dos 17 °C durante os períodos de outono e inverno (EPAGRI/CIRAM - AGROCONNECT). Consequentemente, os recursos hídricos de superfície também expressam temperatura médias baixas nesses períodos.

ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este documento é dividido em cinco capítulos. Após a introdução, o próximo capítulo tem a finalidade de dar conhecimento ao leitor sobre a importância da água como nutriente, citando alguns exemplos de benefícios aos animais e à sua anatomia quando a água está em temperatura adequada, isso baseado em experimentos tirados da literatura. Além disso, faz-se uma revisão de conceitos básicos de aquecimento solar, fornecendo exemplos de aquecedores solares de baixo custo e seu funcionamento. São discutidos também os fundamentos de controle de temperatura.

O terceiro capítulo apresenta a solução proposta, a abordagem para elaborar os sistemas, aquecedor solar e controlador de temperatura da água, com seus requisitos, as especificações, as normas e as metodologias para o desenvolvimento.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais, tanto com relação ao desempenho do controlador quanto ao consumo de água comparado à produção de leite.

E, por fim, o último capítulo mostra a conclusão do projeto e traz as perspectivas futuras com base nos resultados atingidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AQUECIMENTO SOLAR

A irradiação solar é uma fonte de energia essencial para a vida na Terra. Por meio de processos térmicos e fotovoltaicos, a energia solar tem o potencial de suprir a maior parte da nossa demanda por aquecimento de água e de ambientes, calor para processos industriais e eletricidade. Diante destas possibilidades, a água pode ser aquecida utilizando aquecedores solares (SIQUEIRA,2009).

2.1.1 Tipos de aquecedores solares de baixo custo

O atual mercado de aquecedores solares é composto por centenas de produtos com diferentes características, especificamente desenvolvidos para aplicações distintas. Se por um lado há produtos que requerem elevado investimento financeiro, por outro, existem aquecedores solares de baixo custo (ASBC). Apesar de serem menos eficientes, os aquecedores na Figura 1, apresentam baixo custo em função dos materiais utilizados em sua produção e da simplificação dos processos de fabricação (SIQUEIRA, 2009).

Figura 1 – Exemplos de aquecedores solares de baixo custo.



Fonte – Universidade Federal de Santa Catarina e Arquitetura Sustentável (2021).

O Brasil possui várias vantagens que contribuem para a realização e operação econômica do ASBC, são elas: altas temperaturas médias diárias e farta iluminação solar bem distribuída no ano; o uso do PVC (Policloreto de polivinila), material acessível no mercado (SIQUEIRA, 2009) e outras vantagens que não são citadas por não se aplicarem a este trabalho.

O ASBC pode ser utilizado em instalações menores, como residências (vide Figura 2) assim como para uso na agricultura. Para se ter uma ideia de tamanho, um sistema de 1000 L serve para banhar de 30 a 50 crianças e de 20 a 40 adultos, tendo uma vida útil de 10 anos e um valor de implantação de R\$ 1000,00, segundo o *site* da Sociedade do Sol (2009).

Assim, o aquecimento solar da água já se mostra como uma das tecnologias viáveis técnica e economicamente para a implementação deste projeto, no setor agropecuário.

Figura 2 – Sistema ASBC formado por placa de PVC.



Fonte – Sociedade do Sol (2009).

2.1.2 Funcionamento de um aquecedor solar de baixo custo

O sistema ASBC pode ser visto como um sistema tradicional de aquecimento solar de água, diferindo apenas pelo material utilizado e pela possibilidade de autoconstrução.

O funcionamento do ASBC se inicia quando a radiação do sol, luz visível e radiação infravermelha, incide sobre a superfície escura do coletor. A energia absorvida é convertida em calor e aquece a água que está no interior dos coletores. Como a água aquecida é menos densa, começa a se movimentar para o ponto mais alto do sistema, dando início ao processo natural de circulação da água, chamado de termo-sifão. Este processo funcionará enquanto houver irradiação solar ou a temperatura de toda a água do sistema não for igual (SOCIEDADE DO SOL, 2009).

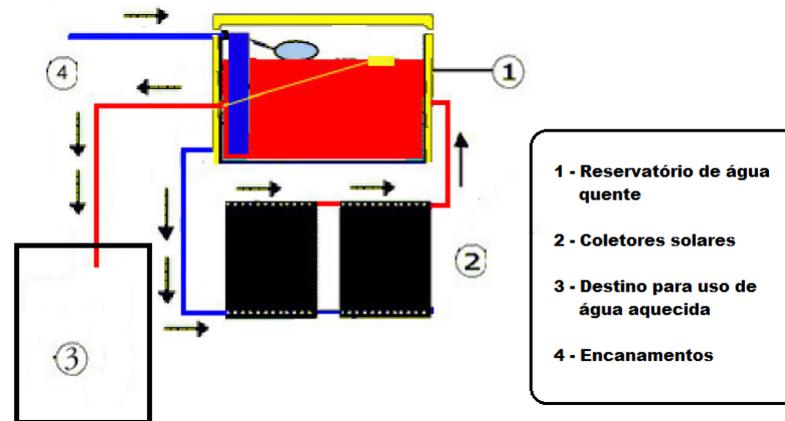
A água aquecida fica armazenada em um reservatório termicamente isolado que reduz a perda de calor para o ambiente. Na Figura 3 é ilustrada uma representação de um ASBC.

2.2 SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

2.2.1 Definições

Para um melhor entendimento deste trabalho é importante estabelecer algumas definições, segundo Benjamin et al. (1996):

Figura 3 – Principais componentes de um sistema ASBC.

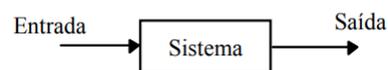


Fonte – Autoral.

Sistema

É uma disposição, conjunto ou coleção de partes conectadas ou relacionadas de tal maneira a formarem um todo. Pode ser físico, biológico, econômico, entre outros. Figura 4 ilustra um sistema.

Figura 4 – Representação de sistema .



Fonte – Benjamin et al. (1996).

Controle

Ação sobre um dado sistema de modo a obter um resultado especificado.

Controlador

Dispositivo utilizado para realizar o controle de um sistema.

Sistema de Controle

Conjunto formado pelo sistema a ser controlado (planta) e o controlador.

Sistema de Controle em Malha Aberta

É aquela em que a saída ou resposta da planta não possui nenhuma influência sobre a ação de controle. Para este trabalho a saída controlada será a temperatura da água (variável PV) e, também, a ação de controle será a potência dissipada por um resistor elétrico imerso no bebedouro (variável MV). Vide Figura 5.

Figura 5 – Sistema em Malha Aberta.

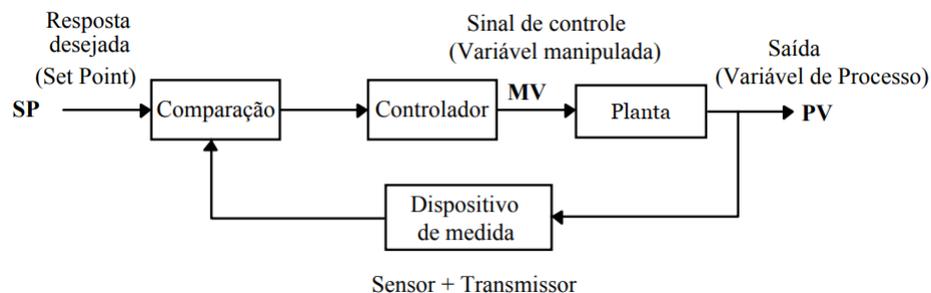


Fonte – Benjamin et al. (1996).

Sistema de Controle em Malha Fechada

É aquele em que a saída ou resposta influencia a entrada do sistema. Representado na Figura 6.

Figura 6 – Sistema em Malha Fechada.



Fonte – Benjamin et al. (1996).

2.2.2 Instrumentação

A instrumentação é a ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos para medir, transmitir, indicar, registrar e controlar variáveis de processos industriais (AGUIRRE, 2013). Para Alves (2005), uma malha de controle requer diversas funções necessárias para um funcionamento correto, desempenhadas por dispositivos chamados de instrumentos para controle de processos.

A instrumentação em projetos utiliza diversos instrumentos, entre os quais pode-se ressaltar os sensores, transmissores e os atuadores. Segundo Alves (2005), os

instrumentos mais utilizados em sistemas de controle podem ser definidos da seguinte forma:

- **Sensores:** são instrumentos que primeiro “sentem” a variável de processo e enviam o sinal a um transmissor.
- **Transmissores:** Dispositivos que recebem o sinal dos sensores na entrada e produzem uma saída padronizada (4 mA a 20 mA, 0 V a 10 V, etc) proporcional ao valor da variável de processo, enviando esta saída a uma entrada analógica de um controlador.
- **Atuadores:** São elementos finais dos sistemas de controle de processos, impulsionados pela saída do controlador. O sinal do controlador é recebido por um atuador, que manipula de alguma forma o processo (planta). Sendo assim, são circuitos que podem receber o sinal de uma saída analógica do controlador (4 mA a 20 mA, 0 V a 10 V) e atuar no elemento final de controle proporcionalmente ao sinal recebido.

2.2.3 Medição de Nível

Na medição de nível o objetivo é determinar a altura da coluna de líquido em um certo reservatório. Os instrumentos de medida de nível podem ser classificados pela forma como medem o nível, em instrumentos de medida direta, indireta e descontínua. Os instrumentos de medição direta medem diretamente a distância entre o nível da lâmina (superfície) de líquido e um referencial previamente definido. A medição indireta é feita por meio de outra grandeza física a ela relacionada, por exemplo níveis de diafragma. Por fim, na medição descontínua, tem-se apenas a indicação quando o nível atinge certos pontos especificados, como exemplo, condições de alarmes de nível alto e baixo (BEGA, 2011).

Neste trabalho, é aplicado um dispositivo de medição descontínua para verificar o nível do bebedouro, uma vez que a medição é utilizada para identificar o momento em que o bebedouro torna-se cheio.

2.2.4 Válvula de controle

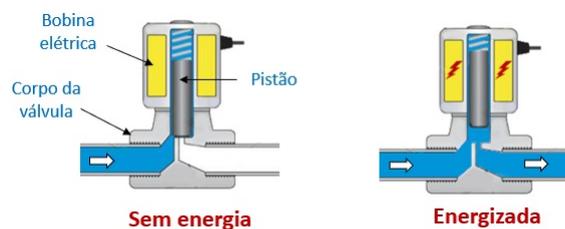
As válvulas de controle desempenham um papel muito importante quando se necessita controlar de forma automática um processo, sendo responsáveis pela manipulação do fluxo de matéria e/ou energia. A finalidade é atuar no processo de modo a corrigir o valor da variável controlada sem que haja algum desvio em relação ao valor desejado (BEGA, 2011). As partes que constituem uma válvula são basicamente o corpo mecânico e o atuador.

Além disso, o atuador é a parte de um conjunto da válvula que responde ao sinal de saída analógica do controlador, formando um movimento mecânico que, por sua vez, resulta em modificação do movimento do fluido por meio da válvula. Inclusive, afirma Altmann (2005), um atuador deve ser capaz de executar duas funções básicas:

- responder a um sinal externo e fazer com que uma válvula se mova proporcionalmente ao sinal, além de ser capaz de realizar outras funções como ações de segurança em defeitos;
- suporte para acessórios como fim-de-curso, interruptores, válvulas solenoides e controladores locais.

As válvulas de controle podem ser de atuação digital, elétrica, hidráulica ou pneumática. Neste trabalho, a válvula de controle utilizada tem um atuador elétrico, sendo necessário somente o sinal do controlador e o acionamento elétrico da bobina, para a sua função de abrir e fechar a passagem de um fluido. A Figura 7 mostra uma válvula solenoide normalmente fechada, que é o tipo de válvula utilizada neste trabalho.

Figura 7 – Válvula solenoide.



Fonte – Master Tecnologia Industrial (2021).

2.2.5 Controle de temperatura

Segundo a física clássica, a temperatura quantifica o calor, que é uma forma de energia associada à atividade molecular de uma substância. Quanto maior a agitação das moléculas, maior a temperatura da substância (BEGA, 2011).

Existem vários tipos de sensores de temperatura dentre os quais pode-se destacar os termopares e os termoresistores.

- Termoresistor PT-100: Possui maior precisão e é o sensor mais utilizado nas indústrias por isso. A medição ocorre com a variação da resistência elétrica de um condutor metálico em função da temperatura. O condutor metálico é a platina (Fialho, 2010).

- Termopar tipo J: Os termopares são sensores bimetálicos que têm funcionamento a partir dos efeitos Seebeck, Peltier e Thonson. Basicamente, a temperatura é medida por meio de uma diferença de potencial entre dois metais. Possuem um baixo custo, e uma faixa mais estreita de operação comparada ao termopar tipo K, que é um dos mais utilizados na indústria (FIALHO, 2010). Pelas especificações da tabela no Apêndice B e por ser mais barato, o termopar tipo J foi escolhido para este projeto.

A Figura 8 mostra um exemplar de sensor de temperatura.

Figura 8 – Termopar tipo J.



Fonte – *Website* da Empresa LS Resistências .

O controle de temperatura é bastante presente em indústrias, laboratórios e até em residências, mas pouco se nota, quase nada, no contexto de nutrição do gado leiteiro.

2.3 EFEITO DA TEMPERATURA DA ÁGUA PARA O GADO LEITEIRO

A necessidade de água dos animais é atendida de três formas: (1) água metabólica, oriunda da oxidação de substratos orgânicos dos tecidos, (2) água contida nos alimentos ingeridos, e (3) água de bebida (BEEDE e COLLIER, 1986). Mesmo havendo produção de água metabólica, o NRC (2001) a considera quantitativamente insignificante se comparado à água livre para bebida e a contida nos alimentos.

Da literatura sabe-se que a ingestão de água fria ou forragem congelada pode diminuir a temperatura do conteúdo ruminal, o que altera a fermentação ruminal. Com a diminuição da temperatura do conteúdo do rúmen reduz-se a atividade microbiana e retarda-se a digestão da forragem (HUNGATE, 1966). Uma síntese microbiana ruminal a substratos fibrosos é relatada como ótima a 38 °C. A temperatura da água ingerida pode reduzir marcadamente a adesão dos microorganismos no alimento (ROGER et al., 1990).

Uma das explicações para o maior consumo dos bovinos de água aquecida é por serem animais ruminantes, os quais possuem algumas modificações em seu

trato digestório derivado da sua evolução. O estômago dos ruminantes é dividido em quatro compartimentos: o rúmem, retículo, omaso e abomaso. Estes três primeiros compartimentos abrigam os microorganismos que realizam a atividade fermentativa. O abomaso assemelha-se ao estômago dos não ruminantes, constituído por epitélio revestido por mucosa com glândulas secretoras de ácido, muco e hormônios (OLIVEIRA et al., 2019).

A forragem consumida pelos bovinos auxilia no desenvolvimento do tamanho e volume do rúmem, retículo e omaso; já a ingestão de alimento concentrado desenvolve as estruturas (papilas ruminais) do rúmem. Logo, a digestão dos alimentos ocorre de forma eficiente através dos microorganismos que estão presentes no rúmem se estiverem nas condições ideais: pH de 5,5 a 6,8, temperatura entre 38 °C e 42 °C, substrato constante para fermentação, anaerobiose, potencial redutor e taxa de passagem constante da digesta, além da remoção dos produtos da fermentação (BERCHIELLI et al., 2006).

Estudos realizados na Finlândia examinaram o efeito de oferecer água potável aquecida e resfriada para verificar o desempenho de vacas leiteiras. Para vacas de alto rendimento em ambiente frio é vantajoso aquecer a água para consumo. Andersson (1985) investigou o efeito de 4 temperaturas de água potável (3 °C, 10 °C, 17 °C e 24 °C) para ingestão de água, consumo de ração e produção de leite de vacas *Swedish Red And White*. No experimento, segundo Andersson (1985), observou-se que a água mais fria (3 °C) causou uma diminuição na produção de leite em comparação com as outras temperaturas de água. Em contrapartida, Osborne et al. (2002) relataram que as vacas beberam mais água aquecida (30 °C a 33 °C) do que água em temperaturas ambiente (7 °C a 15 °C), mas o aumento na ingestão de água não influenciou a produção de leite.

Ainda na Finlândia, experiências realizadas na *North Ostrobothnia Research Station da MTT Agrifood Research Finland* com bovinos mostraram alguns dados da diferença entre um tratamento com água fria de 6 °C a 8 °C, que é a temperatura ambiente típica da Finlândia, um tratamento quente de 16 °C a 18 °C e outro tratamento quente com água a 32 °C. Segundo Lofgreen et al. (1975), os animais com fornecimento de água aquecida tiveram melhores resultados em relação ao tratamento de água fria. Os animais com acesso à água em 18 °C tiveram maior consumo de ração, ganho de peso e melhoraram sua disposição comparado ao tratamento com água a 32 °C.

O efeito da temperatura da água em relação ao seu consumo é variável. Porém, quando água é fornecida à vontade, as vacas leiteiras preferem ingerir água aquecida com temperatura moderada (17 °C a 28 °C) se comparado à água fria ou quente (LANHAM et al., 1986; WILKS et al., 1990). Para Milam et al. (1986) não foi verificada diferença no consumo de água a 10 °C (10,5 litros/dia) e 28 °C (16,1 litros/dia) por vacas da raça Holandesa, embora o consumo de água a 28 °C tenha sido maior, e

também alterações nas variáveis fisiológicas de frequência respiratória e temperatura retal tenham sido observadas. No entanto, no trabalho de Lanhan et. al. (1986) foi revelado que a água a 10 °C reduz a frequência respiratória em vacas Holandesas.

Como último exemplo, foi estudado o efeito da temperatura de água bebida fria (14 °C), normal (23 °C) e aquecida (33 °C) sobre a temperatura retal, frequência respiratória e consumo de água por fêmeas da raça Holandesa expostas em condições climáticas de Viçosa, MG, Brasil, com temperatura ambiente 21,8 °C (9 h) e 26,5 °C (15 h). Concluiu-se que a temperatura da água não influenciou os parâmetros fisiológicos, embora o consumo de água tenha sido maior para o fornecimento de água em 33 °C. Além disso, a variação de temperatura ambiente durante o experimento não indicou desconforto térmico, limitando possíveis efeitos da temperatura da água, e os animais não precisaram consumir maior quantidade de água fria ou normal para dissipar o excesso de calor corporal (BARBOSA et al., 1983).

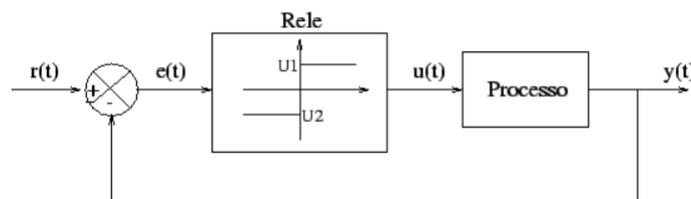
2.4 AÇÕES BÁSICAS DE CONTROLE

Nesta seção serão descritas as características principais das ações de controle utilizadas neste trabalho.

2.4.1 Liga-Desliga (On/Off)

Neste tipo de ação o controlador é modelado por um relé como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Ilustração do controle Liga-Desliga.



Fonte – Gomes da Silva (2005).

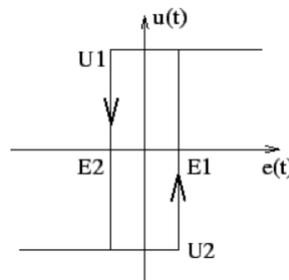
O sinal de controle $u(t)$ pode assumir apenas dois valores, de acordo com o sinal do erro de controle.

$$u(t) = \begin{cases} U_1 & \text{se } e(t) \geq 0 \\ U_2 & \text{se } e(t) < 0. \end{cases} \quad (1)$$

Sistemas de baixa inércia controlados pelo método *on/off* podem gerar uma elevada frequência de chaveamento da ação de controle, o que pode ser indesejado. Para

corrigir este problema, utiliza-se na prática o controlador liga-desliga com histerese representado na Figura 10.

Figura 10 – Histerese.



Fonte – Gomes da Silva (2005).

De acordo com Gomes (2005) o controlador *on/off* com histerese possui o seguinte comportamento:

- Se $u(t) = U1$ é necessário que o valor de $e(t)$ desça abaixo de $E2(t)$ para que haja um chaveamento para $U2(t)$.
- Se $u(t) = U2$ é necessário que o valor de $e(t)$ ultrapasse o valor de $E1(t)$ para que haja um chaveamento para $U1(t)$.

Considera-se a ação de controle liga-desliga como a mais simples e econômica. No entanto, esta ação possui limitações para um comportamento dinâmico e em regime permanente mais criterioso do sistema em malha fechada. Em outras palavras, o controle *on/off* restringe-se a aplicações nas quais não seja fundamental uma boa precisão e nem um bom desempenho dinâmico. Como exemplo de aplicação, tem-se o termostato de geladeira e o controle de nível d'água descontínuo (GOMES DA SILVA, 2005).

2.4.2 Proporcional-Integral-Derivativo

O PID, Proporcionalmente-Integral-Derivativo, é o controlador mais utilizado. Em torno de 90 a 95% de todos os problemas de controle podem ser resolvidos usando este controlador (LEVINE, 1996). Apesar de surgirem novas técnicas de controle, os controladores PID ainda dominarão por muito tempo os parques industriais (CARDOSO, 2002). Mesmo que possam ser usados algoritmos mais sofisticados de controle, muitas vezes pode-se encontrar o controlador PID no nível mais baixo da hierarquia de controle (GUDE et al., 2006).

Um controlador PID calcula a diferença entre a sua variável controlada (medida do processo) e o seu valor desejado (referência) e, em função desse erro, gera sinal

e controle, de forma a corrigir esse desvio. O PID pode ser utilizado nas seguintes configurações:

- Controlador Proporcional (P);
- Controlador Proporcional e Integral (PI);
- Controlador Proporcional e Derivativo (PD);
- Controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID).

Nas seções seguintes são apresentadas as características dos controladores usados neste trabalho, sendo desconsiderado o uso de um controlador de ação derivativa por não ser necessário melhorar a resposta dinâmica do sistema em malha fechada.

Controlador Proporcional

A ação de controle proporcional pode ser representada pela seguinte equação:

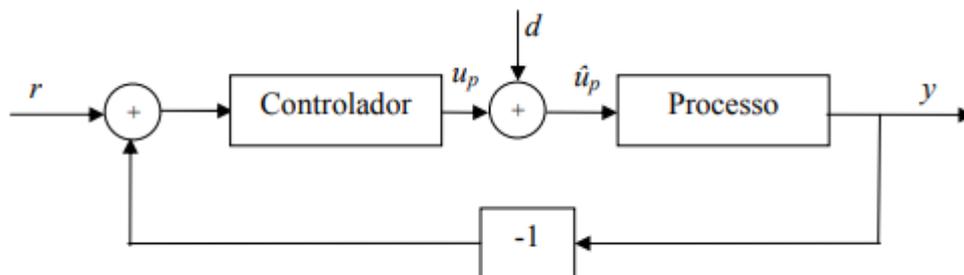
$$u_p(t) = K_p e(t), \quad (2)$$

em que K_p é a constante de proporcionalidade a ser sintonizada. O erro do controlador é dado pela diferença entre a variável controlada ou variável do processo (PV - process variable) e o valor desejado (SP - setpoint), ou seja, $e(t) = r(t) - y(t)$.

Para auxiliar melhor o entendimento da ação de controle proporcional, pode-se considerar a Figura 11, onde d representa a perturbação na entrada da planta, e o processo (planta) apresenta um ganho estático K , para regime permanente:

$$y(t) = K u_p e(t). \quad (3)$$

Figura 11 – Diagrama de blocos de um sistema realimentado.



Fonte – Philips e Harbor (1991).

Dessa forma, considerando que o controlador seja descrito pela Equação (2), obtém-se a seguinte equação que descreve o sinal de saída do sistema em malha fechada Figura 10:

$$y(t) = \frac{K_p K}{1 + K_p K} r(t) + \frac{K}{1 + K_p K} d(t). \quad (4)$$

Sendo assim, com a Equação (4), é possível verificar que o valor do ganho K_p deve ser alto para que a saída $y(t)$ se aproxime do valor de referência $r(t)$. Ora, sendo K_p um valor elevado, o sistema torna-se menos sensível ao sinal de perturbação $d(t)$. A principal desvantagem desse modo é que ele pode gerar um erro em regime permanente impedindo o perfeito rastreamento do sinal de referência. Também, ao considerar a dinâmica do sistema, valores muito elevados para o ganho proporcional podem amplificar o ruído na realimentação da variável controlada, podendo resultar em instabilidade do sistema em malha fechada (FRANKLIN e POWELL, 1993).

Controlador Proporcional e Integral

Ainda de acordo com Franklin e Powell (1993), a ação integral age proporcionalmente à integral do erro do sistema. Ela é responsável por garantir que haja erro igual a zero em regime permanente para entradas em degrau, quando o sistema em malha fechada for internamente estável, e rejeitar as perturbações na entrada da planta iguais ao degrau. A implementação utilizada neste trabalho é o PI alternativo paralelo, onde os ganhos dos controladores são independentes. Sua representação matemática é apresentada na Equação (5)

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dx, \quad (5)$$

em que T_i é a constante de integração. Aplicando a transformada de Laplace à Equação (5) e considerando condições iniciais nulas, obtém-se a função de transferência G_c do controlador PI alternativo paralelo:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{1}{sT_i}. \quad (6)$$

2.4.2.1 Anti-Windup

Quando o valor da variável manipulada atinge o limite máximo (ou mínimo) do atuador ocorre a saturação do sinal de controle. Este fato faz com que a malha de realimentação seja de certa forma interrompida, pois o atuador permanecerá no seu limite máximo (ou mínimo) independentemente da saída do processo. Entretanto, para um controlador com ação integral aplicada, o erro continuará a ser integrado e o termo integral tende a crescer indefinidamente (GOMERY, 2014).

Dessa forma, a ação de controle permanece na saturação, ainda que o erro de controle se torne novamente pequeno, até que o valor da ação integral seja reduzido por um sinal de erro de sinal oposto. Este fenômeno é chamado de *Windup*, e é responsável por fazer com que a resposta transitória do sistema fique lenta e oscilatória, característica extremamente indesejável em um processo industrial (GOMERY, 2014).

Uma solução para o problema de *Windup* é desligar a ação integral assim que o sinal de controle entrar na região de saturação, voltando a ligar a ação integral novamente tão logo o sinal de controle entrar na região linear de controle, ou seja, realizar um ação integral condicional (JOHNSON & MORADI, 2005).

2.5 MÉTODO DE SINTONIA DE CONTROLADORES PID

2.5.1 Método de Sintonia de Ziegler-Nichols

O método de sintonia de Ziegler-Nichols compreende duas alternativas propostas por John G. Ziegler e Nathaniel B. Nichols. Estes métodos são utilizados para conseguir uma resposta ao degrau em malha fechada rápida, sem oscilações excessivas. O método de Ziegler são baseados em malha fechada, pela obtenção do ganho crítico e do período crítico de oscilação sustentada (limite de estabilidade). Já no método de Nichols, a abordagem é realizar um teste de malha aberta, desde que a planta seja estável, e verificar a curva de resposta ao degrau.

A principal vantagem de se utilizar os métodos de sintonia de Ziegler-Nichols é que eles podem ser usados de forma experimental, simplificando o processo de sintonia do controlador. Nessa sintonia, o ganho limiar de instabilidade K_C é chamado de ganho crítico, e o período de oscilações T_C é chamado de período crítico (DORF; BICHOP, 2014). A Tabela 1 apresenta como os ganhos de um PID são calculados, isso quando o ganho crítico e o período de oscilações são obtidos.

Tabela 1 – Sintonia de PID por Ziegler-Nichols usando ganho crítico K_C e período de oscilação T_C

Tipo de controlador	K_p	K_i	K_d
Proporcional (P)	$0,5K_C$	-	-
Proporcional e integral (PI)	$0,45K_C$	$\frac{0,54K_C}{T_C}$	-
Proporcional, integral e derivativo (PID)	$0,6K_C$	$\frac{1,2K_C}{T_C}$	$\frac{0,6K_C T_C}{8}$

Fonte – Retirado de Dorf e Bishop, 2014.

Outra abordagem do método Ziegler-Nichols é realizada considerando sistemas em malha aberta. Nesta sintonia, utiliza-se uma curva de reação, que é obtida pelo desligamento do controlador e, seguidamente, se aplica uma entrada em degrau ao sistema. A chamada curva de reação é a saída do sistema medida e através dela é possível obter o retardo no tempo T_d e a taxa de reação R (DORF; BISHOP, 2014). A Tabela 2 apresenta como os parâmetros de um PID são calculados a partir de T_d e R .

Tabela 2 – Sintonia de PID por Ziegler-Nichols usando curva de reação caracterizada por retardo no tempo, T_d , e taxa de reação R .

Tipo de controlador	K_p	K_i	K_d
Proporcional (P)	$\frac{1}{RT_d}$	-	-
Proporcional e integral (PI)	$\frac{0,9}{RT_d}$	$\frac{0,27}{RT_d^2}$	-
Proporcional, integral e derivativo (PID)	$\frac{1,2}{RT_d}$	$\frac{0,6}{RT_d^2}$	$\frac{0,6}{R}$

Fonte – Retirado de Dorf e Bishop, 2014.

2.5.2 Método de sintonia de Tyreus-Luyben

O método de Tyreus-Luyben é bastante semelhante ao método de Ziegler-Nichols, mas as configurações finais do controlador são diferentes. Além disso, este método propõe apenas configurações para controladores PI e PID. As configurações baseadas no ganho final e no período de oscilações são fornecidas na Tabela 3. Como o método de Ziegler-Nichols, este é demorado e força o sistema a reduzir o valor do ganho do controlador se houver instabilidade (ASTROM & HAGGLUND, 2005).

Tabela 3 – Parâmetros PID - Tyreus-Luyben.

Tipo de Controlador	K	T_i	T_d
PI	$K_c/3.2$	$2.2T_c$	-
PID	$K_c/2.2$	$2.2T_c$	$T_c/6.3$

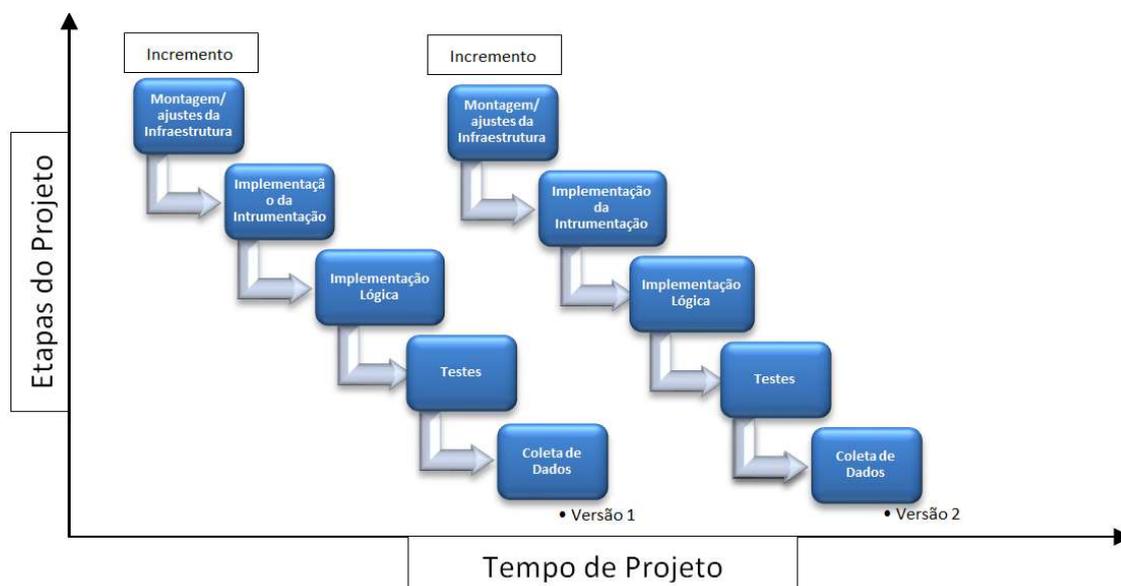
Fonte – Retirado de ASTROM & HAGGLUND, 2005.

2.6 METODOLOGIA DE PROJETO

Para realizar uma entrega rápida de um sistema funcional, que tenha acesso pelo usuário e com a intenção de validar a ideia proposta, é necessário utilizar uma metodologia de projeto que possibilite realizar alterações nas funcionalidades e melhorias em versões futuras. Seguindo esta ideologia, a metodologia utilizada é a de desenvolvimento incremental.

O desenvolvimento incremental possibilita realizar entregas separadamente do trabalho, ou seja, por pedaços, que são chamados de incrementos. Essa metodologia é um desenvolvimento de implementação pautada em ciclos curtos, e que funcionalidades são introduzidas, *feedbacks* coletados e requisitos revistos gerando várias versões até a obtenção de um sistema final (SOMERVILLE, 2011). A Figura 12 mostra como a metodologia citada acima foi aplicada para o desenvolvimento do sistema de controle.

Figura 12 – Desenvolvimento Incremental.



Fonte – *Autoral*.

Foi estabelecida uma sequência de etapas para o desenvolvimento do sistema: **Montagem/ajustes da infraestrutura -> Implementação da instrumentação -> Implementação lógica -> Testes -> Coleta de Dados**. Esta sequência foi realizada a cada incremento.

A primeira atividade do incremento foi montagem da infraestrutura do projeto seguindo o Manual de Instrução de Manufatura e Instalação Experimental do Aquecedor Solar de Baixo Custo, elaborado pela Sociedade do Sol e adaptado ao projeto proposto.

Após a montagem foi possível implementar a instrumentação e observar as melhores posições possíveis de cada componente. Com isso, foi possível identificar qual seria o local mais adequado para seu funcionamento.

Na implementação lógica, foi o momento de aplicar os conhecimentos de controle apresentados anteriormente. Também, usar os métodos de sintonia do PID para encontrar o ajuste que apresentasse o melhor desempenho.

Em vista das implementações, foi possível testar e observar se o sistema estava funcionando adequadamente ou apresentava alguma avaria. Ainda nesta atividade, realizou-se uma identificação detalhada de cada atividade anterior para seguir o fluxograma elaborado e cumprir os requisitos do projeto.

Por último, a etapa de coleta de dados visou recolher as informações que comprovam que o sistema esteja funcionando da melhor forma possível e a consecução dos objetivos estabelecidos ao projeto. Além disso, esta etapa ocorreu, em alguns momentos, paralela à fase de implementação, pois ao se fazer a validação das implementações foi necessário verificar se as respostas estavam dentro do esperado.

Usando esta metodologia, em cada incremento foi observado um aperfeiçoamento no desempenho do sistema. Sendo assim, a metodologia permitiu uma abordagem ágil, auxiliou na implementação e atendeu o requisito que possibilita melhorias contínuas do sistema.

3 PROJETO DO BEBEDOURO AUTOMATIZADO

Neste capítulo serão abordados o projeto do controlador, a metodologia para elaboração da coleta de dados do sistema e os requisitos do sistema utilizados para o projeto. Também serão apresentados os equipamentos e materiais escolhidos para o desenvolvimento e expor a justificativa de sua escolha.

3.1 REQUISITOS DO SISTEMA

O protótipo desenvolvido foi utilizado para verificar a viabilidade de ser um produto, a fim de favorecer ao gado leiteiro e identificar possíveis benefícios agregados. Em um primeiro momento, o sistema será implementado em uma área a céu aberto, sujeito a variações climáticas e intempéries, variação da radiação solar, rajadas de vento e outros fatores externos que agem como perturbação sobre o sistema. Diante disso e com base nas referências citadas neste documento, estabelecem-se alguns requisitos funcionais e não funcionais para o sistema a ser projetado.

Os requisitos do sistema devem descrever apenas o comportamento externo do mesmo e suas restrições operacionais. A forma como o sistema será projetado ou implementado não deve ser definida nos requisitos. Entretanto, torna-se necessário um maior detalhamento do sistema, sendo que, para isso, é fundamental apresentar algum modelo de sistema (SOMERVILLE, 2011).

1. Requisitos funcionais:

- fornecer água para o gado;
- Operar com energia elétrica alternada com tensão de 220 V;
- utilizar a melhor captação da fonte solar possível no painel solar;
- operar com base na convecção natural da água, com base na diferença entre temperaturas de água;
- atuar sobre o resistor somente se houver água no bebedouro;
- manter a temperatura da água do bebedouro entre os 25 °C a 28 °C;
- possibilitar o desligamento do sistema pelo produtor durante alguns períodos do dia.

2. Requisitos não funcionais:

- garantir que a pressão de entrada de água seja o suficiente para que o reservatório de água seja abastecido;
- suportar efeitos de intempéries climáticas;
- garantir proteção do sistema para que o gado não o danifique.

3.2 DIAGRAMA DE FLUXO DO SISTEMA AUTOMATIZADO

No modelo de Fluxo de dados é mostrado como os dados são processados em estágios diferentes. Usam-se diagramas de fluxo de dados para modelar o processamento de dados do sistema. Além disso, os diagramas de fluxo são uma parte fundamental de muitos métodos de análise, pois usam uma notação simples e intuitiva para uma melhor compreensão. Os diagramas são modelados a partir de uma perspectiva funcional, como também podem ser usados na apresentação de troca de dados entre um sistema e outros em seu ambiente (SOMERVILLE, 2011).

Para um melhor entendimento de como funciona o sistema, foi elaborado na Figura 13 um fluxograma de acordo com o modelo de fluxo de dados de Somerville (2011) e seguindo a proposta de padronização da norma ISO 5807-1995 apresentada na tese do José Augusto Navaro Garcia Manzano (2004). Este fluxograma ilustra de forma gráfica, utilizando símbolos, o funcionamento (lógica) do sistema de controle automático desenvolvido.

No diagrama é possível notar a escolha da faixa de temperatura da água no bebedouro para o acionamento das válvulas. Isso foi definido com base nas pesquisas científicas dos autores realizadas em outros países, tendo em vista que não foram encontrados estudos para a região sul do Brasil. A escolha da temperatura da água para operação das válvulas se dá de acordo com a preferência, benefícios e condições adequadas para a anatomia do gado leiteiro que os autores e pesquisadores relatam.

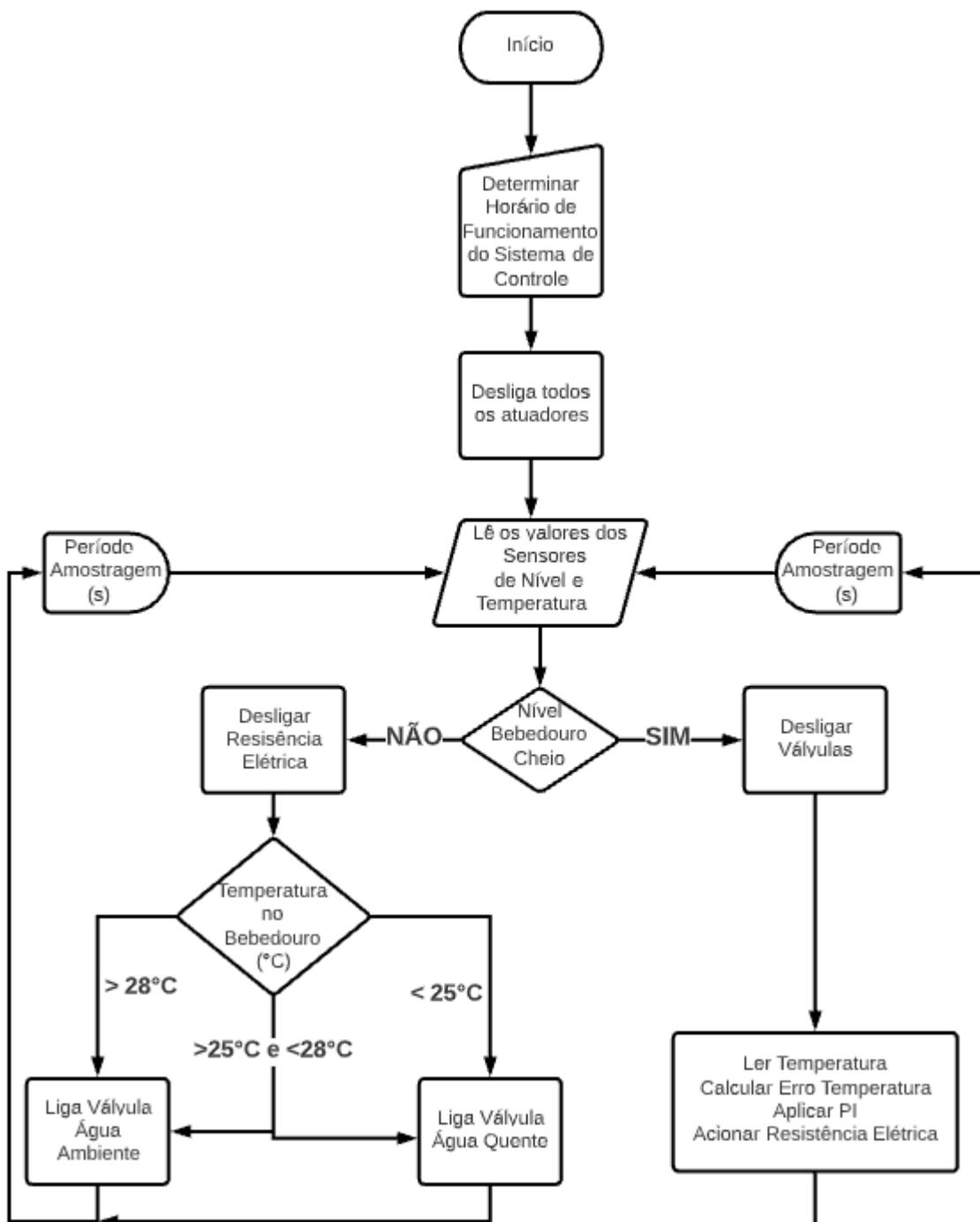
3.3 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA AUTOMATIZADO

Esta etapa visa cumprir um dos objetivos gerais do projeto: elaborar um sistema de controle de temperatura da água em bebedouro para o gado leiteiro. Essa etapa é importante para definir como será a infraestrutura do sistema como um todo. Posteriormente será selecionada uma instrumentação adequada para o desenvolvimento e expor a justificativa de sua escolha.

Como citado anteriormente, o sistema de produção de gado de leite da família Kohl continha somente um sistema tradicional para fornecimento de água aos animais, vide Figura 14. O bebedouro era em ambiente aberto, sem nenhum controle de temperatura e sem uma forma de verificar o consumo da água. No escopo deste trabalho, o bebedouro original foi utilizado para realizar comparações entre o sistema tradicional de bebedouro e o sistema de controle de temperatura da água desenvolvido.

Para definir onde e como será construída a infraestrutura, a primeira etapa a ser seguida é ter mais claras quais são as expectativas, os lugares disponíveis na propriedade e os futuros projetos do produtor. Para isso, foram realizadas entrevistas com o proprietário e o supervisor no intuito de obter os propósitos mais importantes que estejam relacionados às áreas abordadas. Com isso, foi possível realizar um desenho

Figura 13 – Lógica de funcionamento do bebedouro automatizado.



Fonte – Autoral.

esquemático representando o esperado projeto (Figura 15).

Tal desenho está apoiado no planejamento efetuado (no caso de baixo custo) e nas expectativas de poder automatizar o sistema. É importante frisar que a infraestrutura é simples, entretanto, na visão do produto e supervisor, é de extrema importância, pois está atrelada à área da pecuária leiteira e, conseqüentemente, traz resultados

Figura 14 – Exemplo de bebedouro tradicional.



Fonte – Autoral.

financeiros.

Após definida a forma do funcionamento do sistema e uma representação da infraestrutura, o próximo passo é utilizar o Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC da Sociedade do Sol a fim de adaptar a este trabalho e obter os mesmos resultados relatados dos experimentos. Em outras palavras, o objetivo foi construir um sistema ASBC e adaptar à propriedade rural para utilizar da melhor forma possível a água aquecida pelo aquecedor solar.

Nesse contexto, deu-se início à construção da infraestrutura mais apropriada para o controle de temperatura do bebedouro. O protótipo deve se mostrar seguro aos animais e refletir em benefícios ao gado leiteiro. A Figura 16 mostra a estrutura da base para o aquecedor solar.

Um fato importante: a construção da estrutura do painel solar seguiu as instruções do manual da Sociedade do Sol para se obter a melhor captação possível da luz solar de acordo com a posição geográfica da propriedade rural. Para esta construção, as madeiras foram fornecida pelo produtor.

Com isso, o próximo passo a ser seguido foi realizar um levantamento dos materiais a serem adquiridos para a construção do sistema ASBC adaptado ao projeto. Os componentes adquiridos para essa obra estão discriminados no Apêndice B, alguns dos quais foram disponibilizados pelo produtor.

De posse dos materiais, deu-se início à montagem do aquecedor solar ASBC. Ao longo de cada etapa, foi importante considerar que a construção estava atendendo

Figura 15 – Desenho esquemático representando o projeto.



Fonte – Autoral.

algumas características importantes como: utilizar os materiais citados no manual, cuidar com possíveis avarias para não gerar vazamentos e principalmente seguir os requisitos citados anteriormente e obter um ASBC como o da Figura 17.

Com o sistema de aquecimento solar funcionando dentro dos requisitos do projeto e do esperado, adicionou-se à estrutura um bebedouro de material polipropileno em que a água é aquecida disponibilizado pelo produtor e mais viável ao projeto que um bebedouro de metal. O metal dissipa o calor da água aquecida, o que não é desejável ao projeto. O bebedouro, vide Figura 18, exige um reforço da sua estrutura para comportar os aproximados 100 litros de água em seu interior e possíveis impactos mecânicos gerados pelos animais. Além disso, foi considerado, com os conhecimentos técnicos do Renato Kohl e do supervisor, a altura do bebedouro em relação adequada para o gado, sendo ela de 80 cm e, também, deixado uma leve inclinação para um possível transbordo para não danificar a estrutura e equipamentos instalados.

Executadas as atividades anteriores, concluiu-se a construção da parte estrutural do projeto. Entretanto, não foi um procedimento trivial, pois existem dezenas de opções para a construção e funcionalidade. Por fim, foi possível avançar o projeto para a parte de instrumentação.

Figura 16 – Estrutura do painel solar.



Fonte – Autoral.

Figura 17 – ASBC.



Fonte – Autoral.

Na etapa de instrumentação, foi possível analisar os componentes disponíveis no mercado para automatizar o sistema, como também verificar se o produtor possuía algum componente disponível da época quando trabalhava com avicultura e, assim, reutilizar estes componentes.

Figura 18 – Bebedouro.



Fonte – Autoral.

Junto com o produtor, foi encontrado alguns dos componentes aplicáveis ao projeto. Sendo eles: as válvulas de controle, que são válvulas solenoides utilizadas em máquinas de lavar roupas; fios e cabos de cobre para a ligação elétrica entre os componentes e para energizar o sistema com a rede monofásica de 220 V; também foi aproveitado um hidrômetro para posteriormente mensurar o consumo de água dos animais.

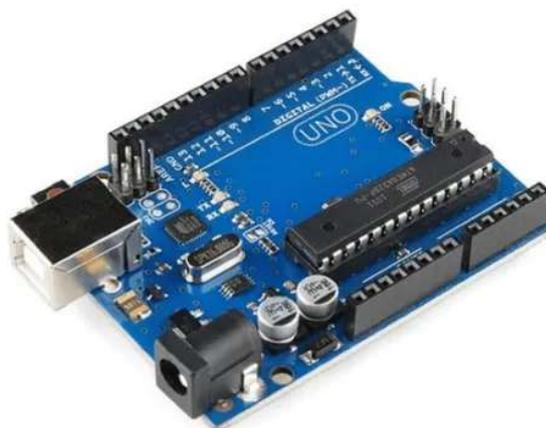
Com alguns componentes disponibilizados, buscou-se encontrar no mercado os demais componentes necessários, robustos para o projeto, de baixo custo, com alto no Índice de Proteção (IP) e dentro da faixa de operação adequada para o projeto.

Além dos materiais para a construção do ASBC, a tabela dos materiais que está no apêndice B também apresenta as especificações e quantidades dos materiais que foram adquiridos e são citados a seguir.

Inicialmente, procurou-se um microcontrolador que atendesse a todos os requisitos do projeto e tivesse portas suficientes para conectar toda a instrumentação. Considerou-se a escolha do microcontrolador Atmega328 com a placa Arduino UNO R3, Figura 19, que por experiência deste autor em outros trabalhos realizados, baixo custo, quantidade de portas e funcionalidade disponível, mostrou-se viável para esta aplicação.

Para o microcontrolador, utilizou-se a plataforma Arduino para realizar a programação em linguagem C/C++. A metodologia aplicada para o desenvolvimento do

Figura 19 – Microcontrolador Atmega328 Arduino UNO.



Fonte – FILIPEFLOP (2021).

sistema de controle foi através do desenvolvimento incremental, já mostrada na seção 2.7.

Mesmo com o sistema ASBC para aquecer a água no bebedouro, também houve a necessidade de uma outra fonte de calor para deixar a água aquecida em dias encobertos ou de muito frio. Para isso, adquiriu-se uma resistência elétrica utilizada em *boilers*. A potência máxima consumida do componente é de 3000 W, sendo essa potência escolhida para que não sobrecarregasse os cabos de fornecimento de energia para o sistema, compartilhados com outros aparelhos consumidores de energia.

O uso da resistência elétrica, não blindada, para aquecer a água no bebedouro exige o cumprimento das normas técnicas de instalação, sendo realizado o aterramento para evitar descargas elétricas. A fuga de corrente, como chamado o fenômeno, foi evitada com o uso de um cabo de cobre em contato com o líquido e conectado a uma haste de cobre aterrada no solo. Também foi evitado que o gado leiteiro tenha contato direto com esse equipamento quando está em funcionamento. A Figura 20 mostra a solução tomada para evitar este contato e também proteger outros componentes elétricos.

Para verificar o nível de água no bebedouro foi usado um sensor de nível. O sensor utilizado funciona como uma chave de fim de curso. Quando a lâmina da superfície de água atinge seu nível máximo no bebedouro, um sinal elétrico é enviado para o controlador. Na lógica de automação desenvolvida para este projeto, este componente tem como função principal contribuir para a decisão da atuação do controlador.

Como a resolução da temperatura coletada não precisa ser baixa e o fluido atinge sua temperatura máxima aproximadamente aos 100 °C, o sensor de temperatura termopar tipo J foi escolhido dentre os sensores citados anteriormente para mensurar

Figura 20 – Proteção no bebedouro em madeira.



Fonte – Autoral.

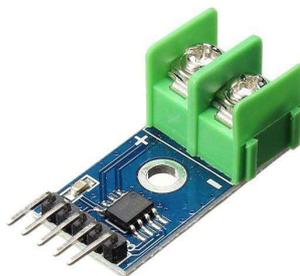
a variável do processo. Além disso, o sensor deve estar posicionado de forma que a leitura seja sempre em relação à lâmina de água da superfície, uma vez que os animais têm contato habitualmente apenas com a superfície da água.

o termopar gera um sinal de tensão proporcional a temperatura em que a junta de medição ou "junta quente" esta aplicada, mas a tensão é proporcional a diferença entre a junta de medição e a junta em que é feita a leitura "junta fria" que normalmente esta submetida a temperatura ambiente

O sensor de temperatura gera um sinal muito baixo, na faixa dos milivolts, esta tensão é proporcional a diferença entre a junta de medição e a junção fria que normalmente está submetida a temperatura ambiente. A tensão do sinal não é o suficiente para ser lido por uma das portas do controlador. Por isso, há necessidade de se usar um amplificador de sinal para que a leitura do sensor seja recebida na porta do controlador. Para essa amplificação do sinal, adquiriu-se o módulo sensor de temperatura MAX6675 (Figura 21) que realiza compensação de junção fria, correção de linearidade e detecção de defeito do termopar. Além de ter compatibilidade com o controlador Arduino, a resolução do módulo MAX6675 com o termopar é de 0,25 °C, suficiente para o projeto o qual não exige alta precisão.

No controle de processos há necessidade de um chaveamento para o aciona-

Figura 21 – Módulo sensor de temperatura MAX6675.



Fonte – FILIPEFLOP (2021).

mento dos atuadores do sistema, para isso, o uso de relés é bastante usado em projetos que envolvem controle de temperatura e solenoides. Foi encontrado no mercado dois tipos de relés: o relé eletromecânico, que possui peças móveis em seus mecanismos; e o relé de estado sólido (SSR - *Solid State Relay*) constituído por componentes semicondutores, portanto sem chaveamento mecânico. Neste projeto optou-se pelo relé de estado sólido. Entre as vantagens, a principal foi o tempo de comutação ser consideravelmente menor, de tal forma que o relé pode atuar em altas frequências de acionamento. Por fim, para cada acionamento foi escolhido um SSR adequado às características do acionamento dos atuadores, válvula solenoide e a resistência elétrica.

Como citado anteriormente, em certos horários programáveis o produtor gostaria de desligar o sistema de controle de temperatura. Tais horários são alterados de acordo com a mudança do manejo com o gado. Sendo assim, adquiriu-se um temporizador analógico programável para determinar os horários de funcionamento. Por existir familiaridade do produtor com o dispositivo, tornou-se fácil a programação dos horários que o bebedouro teria a temperatura da água controlada. O dispositivo, Figura 22, funciona como uma chave que permite programar os horários em que a carga deve permanecer ligada. Trata-se de um disco com teclas, sendo que cada tecla corresponde a 15 minutos das 24 horas do dia. Quando pressionada, a tecla permite a passagem de energia para a carga conectada ao aparelho.

Após escolhidos todos os componentes eletrônicos, o próximo passo no projeto foi realizar a integração dos mesmos. Sendo assim, foi realizado um esquemático desenvolvido no *software EasyEDA* para representar o circuito elétrico do sistema de controle. O desenho está ilustrado no Apêndice A. Com o auxílio dessa representação

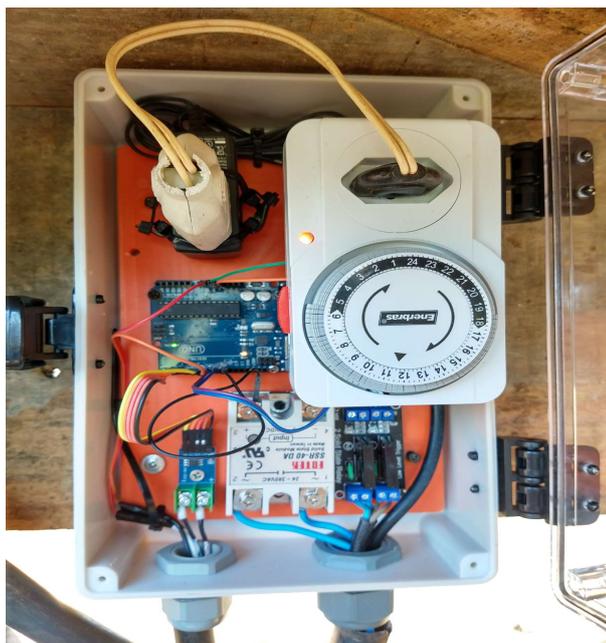
Figura 22 – Temporizador analógico programável.



Fonte – Magazine Luiza (2021).

foi possível realizar a montagem do quadro de comando como mostrado na Figura 23. Um importante detalhe a frisar é que este quadro está exposto a ambiente aberto. Para que a instalação seja neste local é necessário que este produto tenha um índice de proteção adequado para proteger os componentes no seu interior.

Figura 23 – Painel de comando.



Fonte – Autoral.

Para mensurar o consumo de água do grupo dos animais foi escolhido um hidrômetro. Trata-se de um dispositivo analógico que registra quantos metros cúbicos de água passaram pelo aparelho. Na Figura 24, nota-se o bebedouro com fornecimento de água em temperatura ambiente e na parte inferior da imagem o hidrômetro instalado para coletar os dados de consumo.

Figura 24 – Hidrômetro.



Fonte – Magazine Luiza (2021).

Por fim, as válvulas solenoides fornecidas pelo produtor foram instaladas e protegidas dos animais. São equipamentos utilizados para controlar a entrada de água vinda do ASBC e da água em temperatura ambiente. Uma ou ambas as válvulas, a depender da temperatura da água no bebedouro, permanece(m) aberta(s) até a água atingir o nível máximo da capacidade do bebedouro.

3.4 CONTROLE

Neste tópico será abordado o projeto de algumas ações de controle testadas no protótipo.

3.4.1 Liga-Desliga (On/Off)

Primeiro foi implementado o controle do nível do bebedouro com atuação nas válvulas. Conforme sugerido por Gomes Da Silva (2000), utilizou-se o controle do tipo liga-desliga para encher o bebedouro de água. Como demonstrado anteriormente no fluxograma da Figura 13, o controle atua nas válvulas conforme em função da temperatura da água. Quando ativadas, a válvula água quente liga apenas enquanto a temperatura da água estiver abaixo dos 28 °C e a válvula água ambiente liga apenas quando acima dos 25 °C. Sendo assim, a histerese foi configurada para uma faixa de temperatura de 3 °C. Este ajuste evita um ciclo de liga-desliga em curto período de tempo, evitando o desgaste excessivo tanto do controlador quanto das válvulas. O

esquema de atuação nas válvulas foi definido para que o nível máximo de água do bebedouro seja alcançado o mais rápido possível.

O controle Liga-Desliga foi aplicado ao resistor, desta vez sem configuração de histerese, para analisar os efeitos na variável de processo. Na aplicação, a temperatura de *setpoint* foi de 27 °C e será ilustrado o resultado da atuação no capítulo seguinte.

3.4.2 Ação Proporcional

Como os métodos de Ziegler e Nichols são, essencialmente, experimentais, aplicados a sistemas sem a necessidade de obter o modelo matemático da planta, foi utilizado o segundo método destes autores citado anteriormente. Considerando que plantas sem integrador(es), ou, sem polos complexos conjugados dominantes, tendem a apresentar uma curva de resposta ao degrau de primeira ordem. Logo, deve-se encontrar um valor de ganho proporcional, que torna o sistema marginalmente estável, com sua saída apresentando oscilações mantidas.

É importante frisar que este método fornece, apenas, uma estimativa inicial para os parâmetros do controlador, sendo necessário, em muitos casos, um ajuste fino desses parâmetros, por parte do projetista. Considerando isso, obteve-se o valor de $K_p = 90$, com $T_d = 0,3$ e $R = 0,037$, e a partir da Equação (2) e obteve-se:

$$u_p(t) = 90e(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} U_p(s) = 90E(s), \quad (7)$$

Além disso, esta atuação só ocorreu na condição de nível de água do bebedouro cheio.

3.4.3 Ação Proporcional-Integral

Para esta ação, deve-se considerar que a saída do controlador seja em função do erro e da integral do erro. Com isso o controlador PI foi ajustado com os seguintes ganhos:

$$u(t) = 79e(t) + \frac{1}{1,1} \int_0^t e dx, \quad (8)$$

estes ganhos foram obtidos com o uso do método de sintonia de Tyreus-Luyben para um controlador PI paralelo clássico. Com base na Tabela 3, os valores encontrados foram $K_c = 255$ e $T_c = 0,5$ em que $K = 79$ e $T_i = 1,1$. O 255 é o valor máximo de variações gerado pela porta de saída de 8 bits do controlador, dessa forma, o atuador (resistência elétrica) funciona em sua máxima potência, e pode variar até o valor 0, em que a energia para o atuador é interrompida no SSR. T_c se obteve do período de oscilações.

Franklin e Powell (1993) relatam que a componente integral, ao adicionar um pólo na origem da função de transferência do controlador, elimina o erro estacionário

de posição, independentemente do sistema que se pretende controlar. A ação integral elimina o erro estacionário, em contrapartida, aumenta o tempo de estabelecimento e piora a estabilidade relativa. Sendo assim, o ganho da ação proporcional foi reduzido.

Nesta sintonia, foi utilizada uma ação integral condicional. A ação integral atua apenas quando o erro $e(t)$ está dentro do intervalo de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. No entanto, a ação proporcional não possui condição. Essa estratégia buscou conseguir o máximo de atuação da resistência elétrica até atingir próximo do valor de *setpoint*, justamente por haver saturação.

Como a variável manipulada atinge os limites máximo e mínimo do atuador, ocorre a saturação do sinal de controle (GOMERY, 2014). Para solucionar este problema de *Windup* baseado nas citações de Johnson e Moradi (2005), realiza-se uma ação integral condicional. Tal que: a ação integral é desligada quando o valor do sinal de controle é maior que 255 ou inferior a 0; e a ação integral volta a ligar quando o sinal de controle entra na região linear de controle.

3.4.4 Manejo do Gado Leiteiro

Para realizar uma comparação dos resultados e benefícios desse projeto, tornou-se necessário dividir os animais em dois grupos: os animais, com acesso apenas a água ambiente, e os animais com acesso à água de temperatura controlada.

Através de conversas com o supervisor e o produtor, chegou-se à decisão de dividir o gado leiteiro de modo que tivessem a mesma quantidade de indivíduos em cada grupo e um equilíbrio também na separação igualitária dos animais dominantes. Dessa forma, o conhecimento do técnico e produtor dos animais facilitou a identificação dos animais dominantes e os não dominantes para distribuí-los nos dois grupos. Como as vacas de raça Holandesa possuem aparências similares, foi utilizado um marcador para manejo que identificava os animais. Assim, o método auxiliou a identificar o gado quando estava retornando do pasto, sendo separados novamente para o seu respectivo grupo. Estes grupos, com exceção dos momentos quando soltos em pasto sem o acesso à água, ficavam separados para garantir a confiabilidade dos dados do consumo de água.

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O objetivo deste capítulo é realizar uma análise da lógica de controle proposta no capítulo anterior, avaliando-se seu desempenho e também verificando qual a melhor sintonia para a implementação do projeto.

As características para um sistema de controle de temperatura mais eficiente são a rejeição de perturbação de forma rápida, um controle de temperatura com oscilações de amplitudes baixas e menor tempo possível para atingir o *setpoint*. Os testes foram realizados em diferentes cenários de ambiente externo devido à variação de temperatura no inverno.

A perturbação no sistema ocorre de duas formas distintas. Pode-se diminuir o nível de água no bebedouro por um animal que consumiu a água, assim, a ação do controle atua para repor a água e mantê-la na temperatura de referência. Outra forma de perturbação é a perda de energia térmica por meio da troca de calor entre o ambiente externo e a água aquecida, havendo diminuição da sua temperatura.

4.1 CONTROLE LIGA-DESLIGA

Para esta ação de controle no atuador resistência elétrica, a condição ambiente era de 23 °C, às 14 h e havia presença de vento não mensurável. Como citado anteriormente, esta atuação não possui histerese, justamente para verificar o chaveamento em alta frequência no valor de referência de 27 °C. Pode-se notar na Figura 25 que a variável de processo oscila. Neste teste, a temperatura do bebedouro já apresentava temperatura próxima da referência. Porém, pode-se notar que este controle não se mostrou adequado à aplicação.

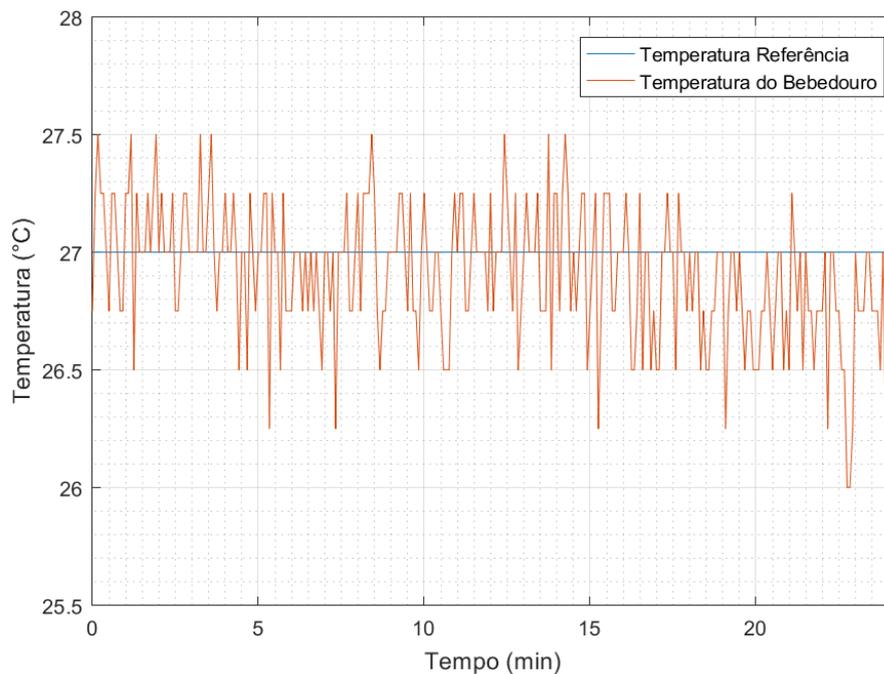
Na Figura 26, percebe-se que a variável manipulada oscila e gera uma alta frequência de consumo de energia pelo atuador, sendo um período de amostragem de cinco segundos. Desta forma, o circuito elétrico de alimentação do sistema possivelmente acaba sendo afetado pelos picos de corrente, uma vez que é compartilhado com outros equipamentos da propriedade rural.

4.2 AÇÃO PROPORCIONAL

Seguindo os conceitos apresentados do controlador proporcional no capítulo 3, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 27 para a variável de processo. As condições desta implementação eram: temperatura ambiente de 20°C, às 10 h e presença de vento não mensurável.

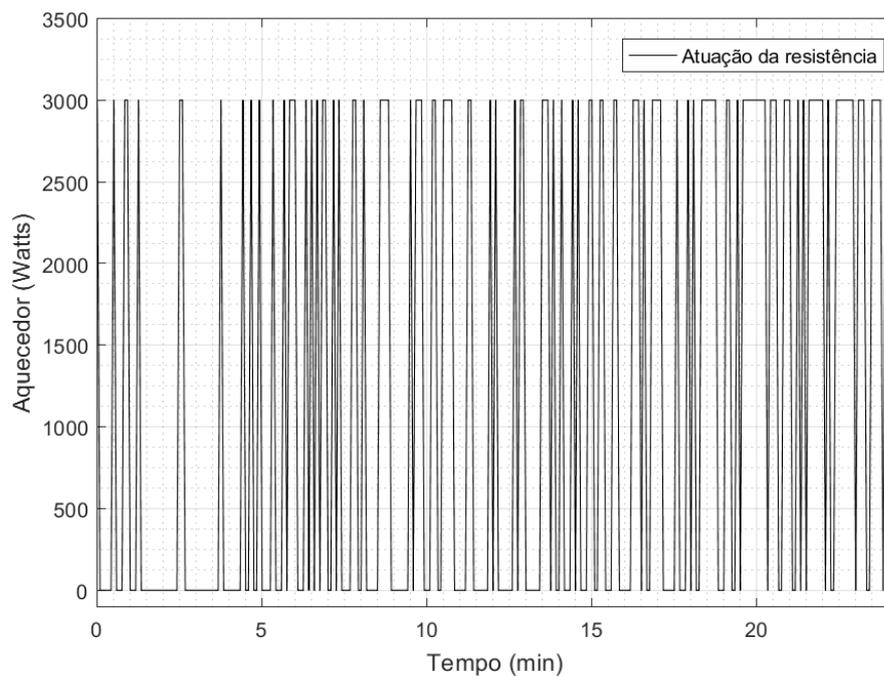
Na Figura 27 é possível notar que a temperatura de referência não é atingida apenas com a ação do controlador proporcional, uma vez que o ganho proporcional é finito e o processo não é integrador.

Figura 25 – Variável de processo com controle ON/OFF.



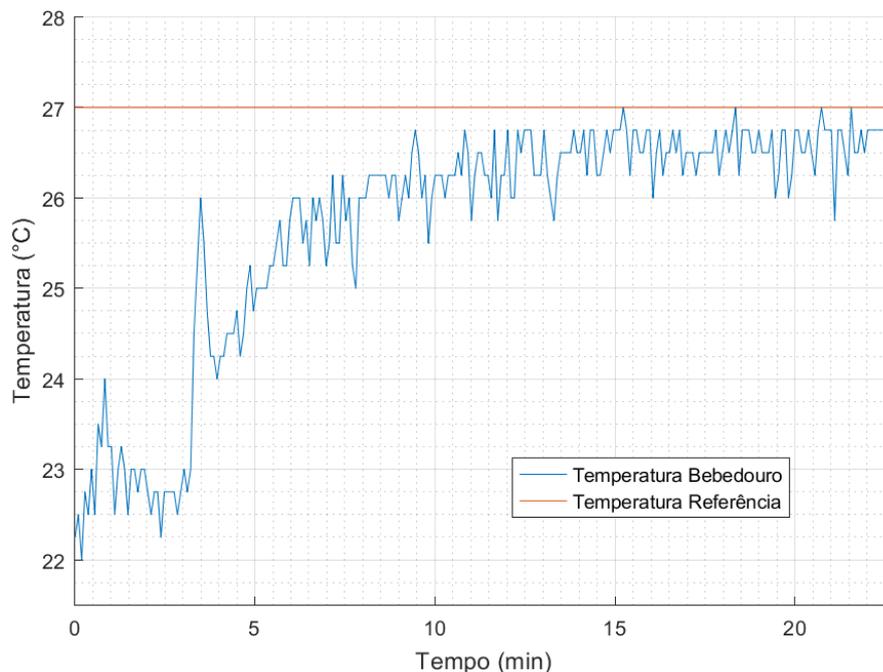
Fonte – Autoral.

Figura 26 – Variável manipulada sob controle ON/OFF.



Fonte – Autoral.

Figura 27 – Variável de processo sob controle P.



Fonte – Autoral.

Neste caso mostrado pela Figura 27 e pela Figura 28, o resultado é mais aceitável para a variável do processo, quando se compara com o resultado obtido do controle ON/OFF. Como o período de amostragem é de cinco segundos, percebe-se que o sistema não sofre de um chaveamento em alta frequência para ativar o atuador.

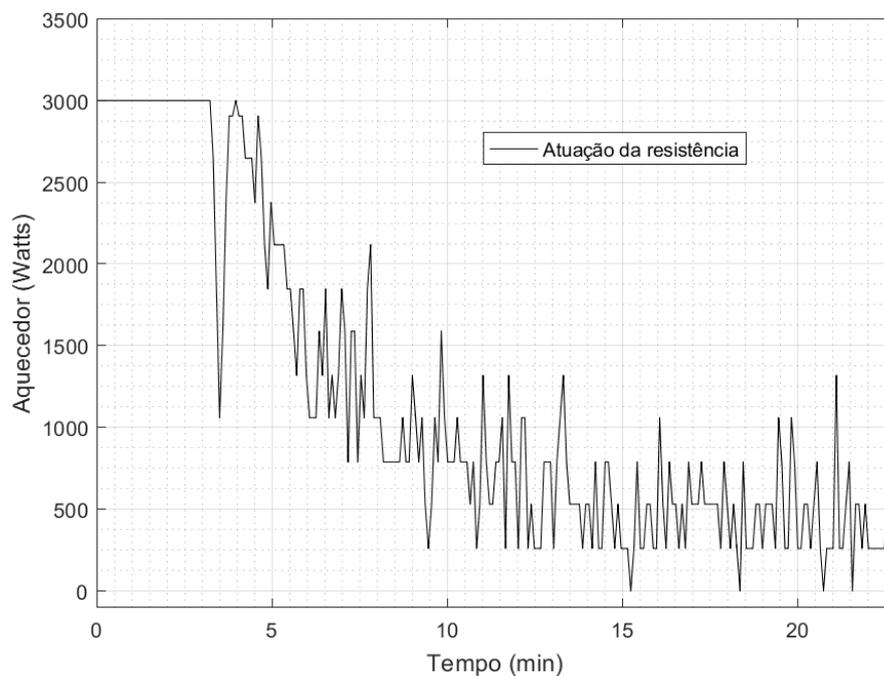
4.3 AÇÃO PROPORCIONAL-INTEGRAL

A Figura 29 mostra o resultado obtido com o controlador proporcional-integral para a variável de processo. Sob condição de 9 °C, às 9 h e presença de vento não mensurável. Após vários testes com o uso da metodologia de desenvolvimento incremental, foi possível realizar um ajuste de ganho do controlador para que chegasse a esse resultado para diferentes cenários. Assumiu-se os valores de $K = 85$ e $T_i = 1s$.

É possível notar que este controle, comparado aos dois anteriores, se sobressai. Justamente, por conseguir atingir a temperatura de referência, eliminar o erro estacionário e pela atuação do resistor tender a funcionar em sua mínima potência para manter aquecido a água no bebedouro (Figura 30).

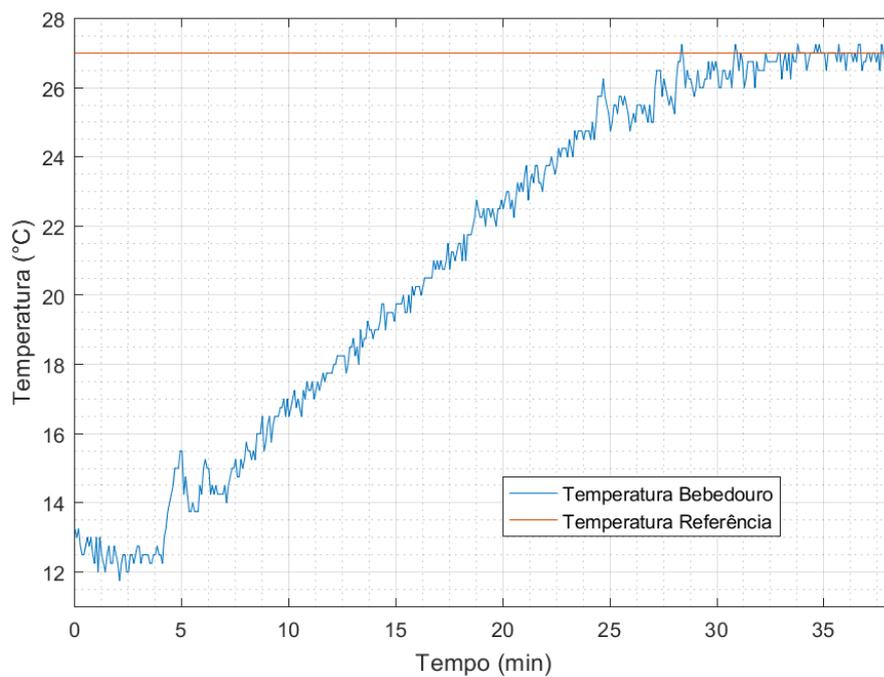
Sendo assim, teve-se o ajuste e a definição da melhor sintonia a ser usada dentre as escolhas citadas anteriormente. Com o PI ajustado e atingindo os resultados esperados, foi realizada a integração de comando do resistor com as válvulas de entrada de água, fria e quente. Dessa forma, aplicou-se a ação proporcional-integral

Figura 28 – Variável manipulada sob controle P.



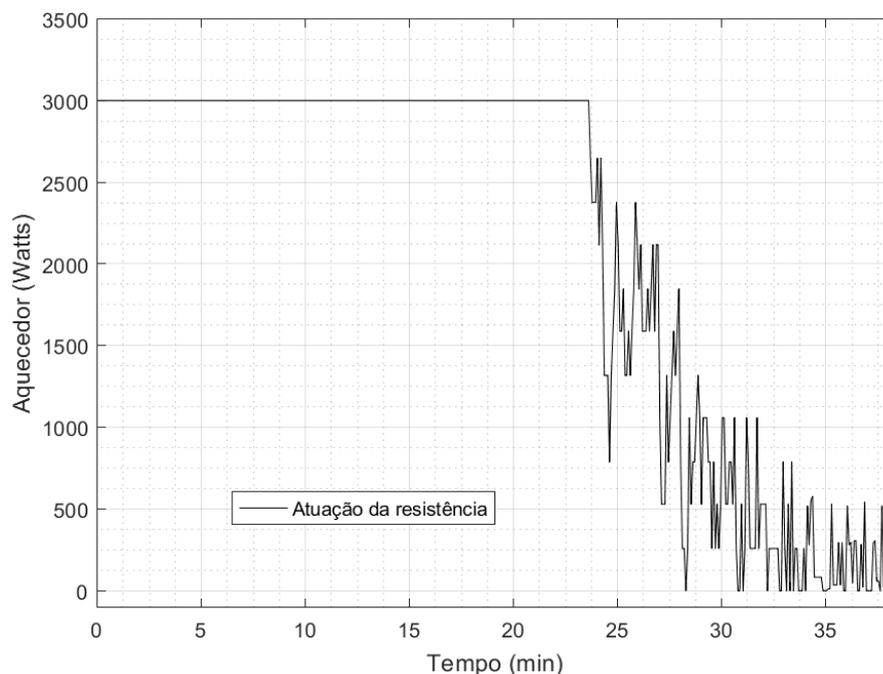
Fonte – Autoral.

Figura 29 – Variável de processo com controle PI ajustado.



Fonte – Autoral.

Figura 30 – Variável manipulada com controle PI ajustado no frio.



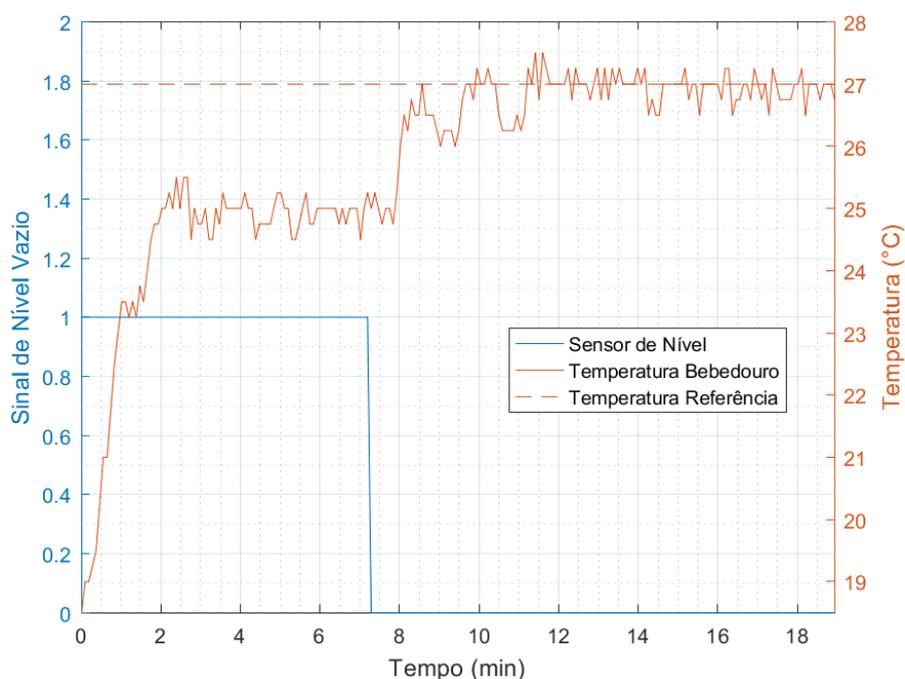
Fonte – Autoral.

para a atuação do resistor e a ação liga-desliga para o acionamento das válvulas. Além disso, foi verificada a contribuição do sistema ASBC para que a temperatura da água no bebedouro se mantivesse dentro do desejado para o consumo do gado leiteiro.

Na Figura 31, apresenta-se o teste realizado em um cenário com temperatura ambiente em 20 °C, às 17 h e presença de vento não mensurável. No entanto, como explicado anteriormente, o sistema possui uma atuação das válvulas solenoides para deixar a temperatura da água entre 25 °C e 28 °C até atingir o nível cheio do bebedouro. Se o sinal de nível vazio for 0 (zero), a atuação fica apenas do atuador para manter a temperatura da água em 27 °C. O gráfico da Figura 32 demonstra o comportamento da variável manipulada sob controle.

Para garantir a robustez do sistema de controle e também verificar as respostas do sistema com perturbações, foi realizado um teste com perturbações forçadas no sistema e também analisar o seu comportamento. Os resultados são mostrados na Figura 33 e Figura 34. Nota-se após o minuto 5 que a variável de processo tem uma queda brusca de temperatura. Isso foi realizado manualmente para verificar se a válvula de entrada de água quente do sistema ASBC acionaria e, simultaneamente, a válvula de água fria se desligaria. Outro momento de perturbação forçada foi na primeira atuação da resistência elétrica em que a variável de processo passa do valor de *setpoint* e requisita o desligamento do resistor. Por fim, a continuação do teste foi sob a perturbação do nível vazio e as frequentes rajadas de vento presentes desde o

Figura 31 – Variável de processo sob controle PI com as válvulas, sendo nível 1 igual vazio e nível 0 igual cheio.



Fonte – Autoral.

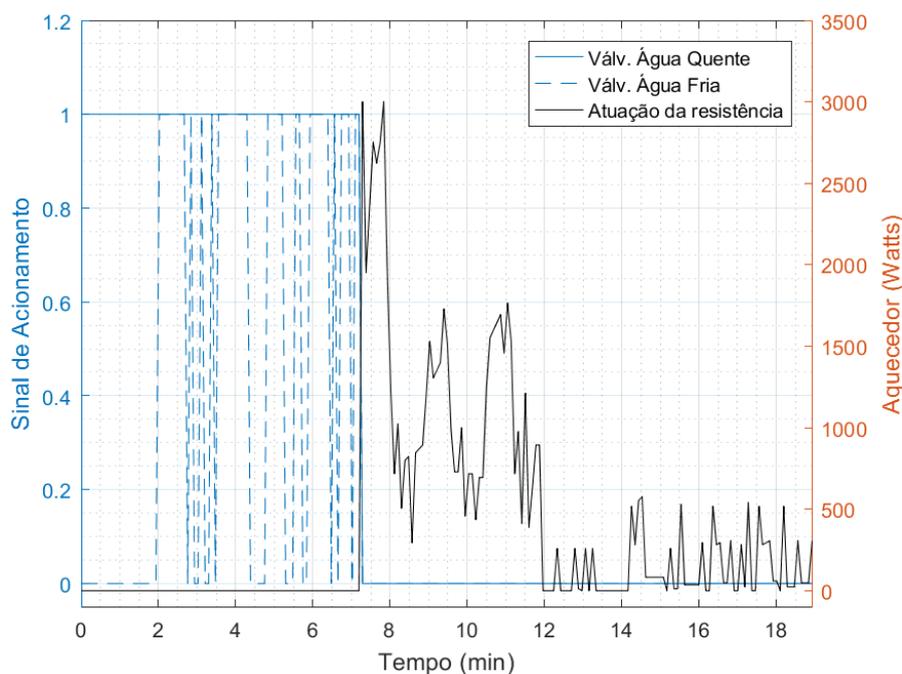
início do teste.

A conclusão com o teste das perturbações e verificação das ações do controle foi que o sistema de controle de temperatura da água em bebedouro para gado leiteiro estava apto para que o grupo dos animais Água Aquecida tivessem acesso. Com isso, a coleta de dados para verificar os benefícios do consumo de água aquecida com o uso do sistema foi iniciada.

A coleta de dados e o acompanhamento do comportamento do gado leiteiro foram de um intervalo de 51 dias durante a estação de inverno da cidade de Xanxerê do estado de Santa Catarina. A temperatura nesse período teve variação $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, de acordo com o histórico da climatologia da EPAGRI/CIRAM. Os animais apresentaram comportamentos normais para a aceitação do sistema. Notou-se que no primeiro contato com a água aquecida os animais já permaneciam por mais tempo consumindo água que os animais que consumiam água em temperatura ambiente.

Nesse período foi relatado pelo produtor que nenhum animal dos dois grupos apresentou alguma enfermidade ou queda de produtividade. Torna-se importante frisar, este projeto foi implementado sob o modo de sistema extensivo, atualmente presente, onde a criação dos animais é a pasto, as instalações são simples e limita-se a um curral onde as vacas são ordenhadas. Em breve, o produtor contará com melhorias no sistema de manejo, as vacas ficarão confinadas para um melhor controle nutricional e

Figura 32 – Variável manipulada sob controle PI com as válvulas, sendo Válv. em 1 igual ligada e Válv. em 0 igual desligada.



Fonte – Autoral.

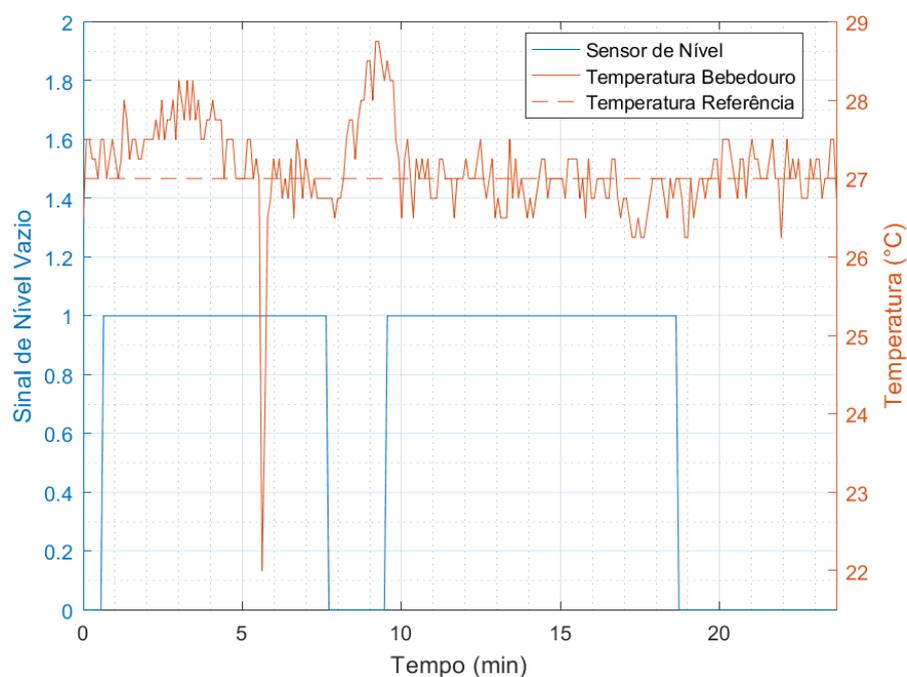
serão ordenhadas em fosso. De qualquer forma, todos os animais tiveram acesso livre à água, receberam proporções, mas sem precisão, de comida e nutrientes conforme o número de animais de cada grupo.

Através do manejo dos animais pelo produtor Renato Kohl foi possível atingir os resultados que serão apresentados a seguir. Iniciando pela Figura 35 que mostra o gráfico da comparação entre os dois grupos de animais para o consumo de água, quantidade de animais em cada grupo e a produção de litros de leite.

Os dados coletados foram obtidos do total de cada grupo das vacas e dividido pelo número de integrantes do respectivo grupo. Sendo assim, os valores apresentados no gráfico da Figura 35 são as médias para o consumo de água e da produção de leite.

Nota-se inicialmente a grande diferença de litros de consumo de água por animal. O consumo de água, de um animal com acesso a água aquecida, em vários dias foi maior que o dobro em relação ao de um animal do outro grupo. Percebe-se um aumento de animais em cada grupo durante o período, isto se deve ao fato de novas vacas (novilhas) entrarem em fase de lactação. Tal que, nesta fase a vaca inicia com uma baixa produtividade e após alguns dias, aproximadamente 10 a 15 dias, atinge o seu pico de produção de leite e vai decaindo após alguns meses até entrar na fase seca, vide tabela no Apêndice D. Por fim, na produção média de leite por vaca de cada grupo os valores mostraram serem maiores para o gado com acesso a água ambiente

Figura 33 – Perturbação no sistema do controle PI com as válvulas, sendo nível 1 igual vazio e nível 0 igual cheio.



Fonte – Autoral.

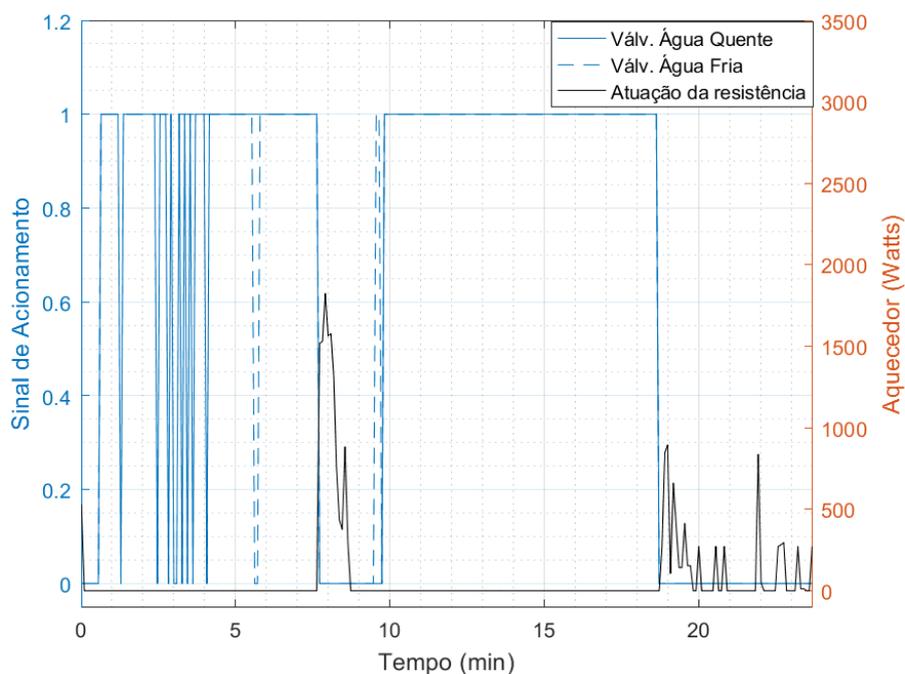
e mostrando uma falha ao objetivo do projeto de obter uma melhor produção de leite com este sistema.

Para uma melhor análise sobre o total consumo de água, vide a Figura 36. Sendo um total de 11430 litros de água consumida pelo grupo Água Aquecida contra um total de 6630 litros de água consumido pelo grupo Água Ambiente. Estes dados foram coletados com o auxílio do hidrômetro e é possível notar que do 17º dia até o 41º dia havia uma vaca a mais no grupo da Água Ambiente e o total consumido de água foi menos da metade do que o outro grupo. Neste período foi em que as temperaturas ambiente mais variaram, 9 °C a 23 °C, durante os dias. Ao mesmo tempo, durante os 51 dias a estiagem afetou bastante a agropecuária, tendo que acionar algumas vezes a defesa civil para abastecer os reservatórios de água para os animais da propriedade.

Com o pasto sendo afetado pela falta de água, a produção de leite teve um declive a partir do 31º dia mesmo com o aumento do rebanho em lactação como é possível ver na Figura 37 com os totais diários da produção de leite. Além disso, nesta imagem é possível notar que as vacas com acesso à água de temperatura controlada não demonstraram ter maior produção de leite, mas sim, valores inferiores mesmo quando o número de integrantes eram iguais.

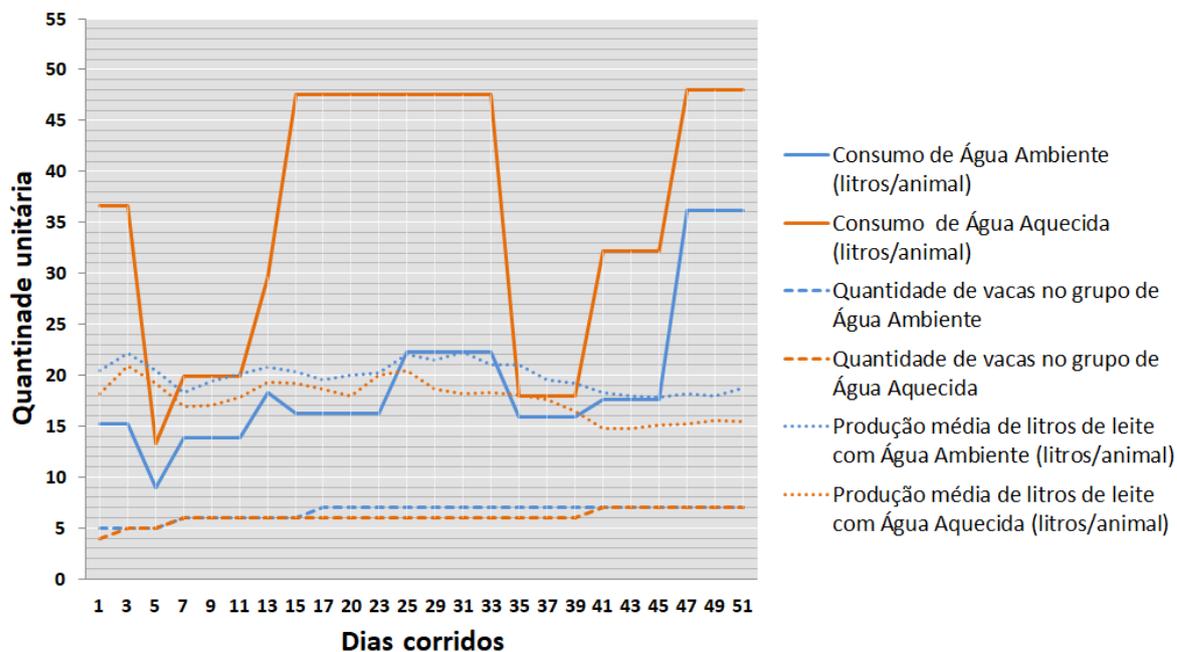
Admite-se que este experimento possui muitos fatores que podem ter influenciado os resultados para não obter um dos objetivos esperado, que era o aumento

Figura 34 – Perturbação no sistema do controle PI com as válvulas, sendo Válv. em 1 igual ligada e Válv. em 0 igual desligada.



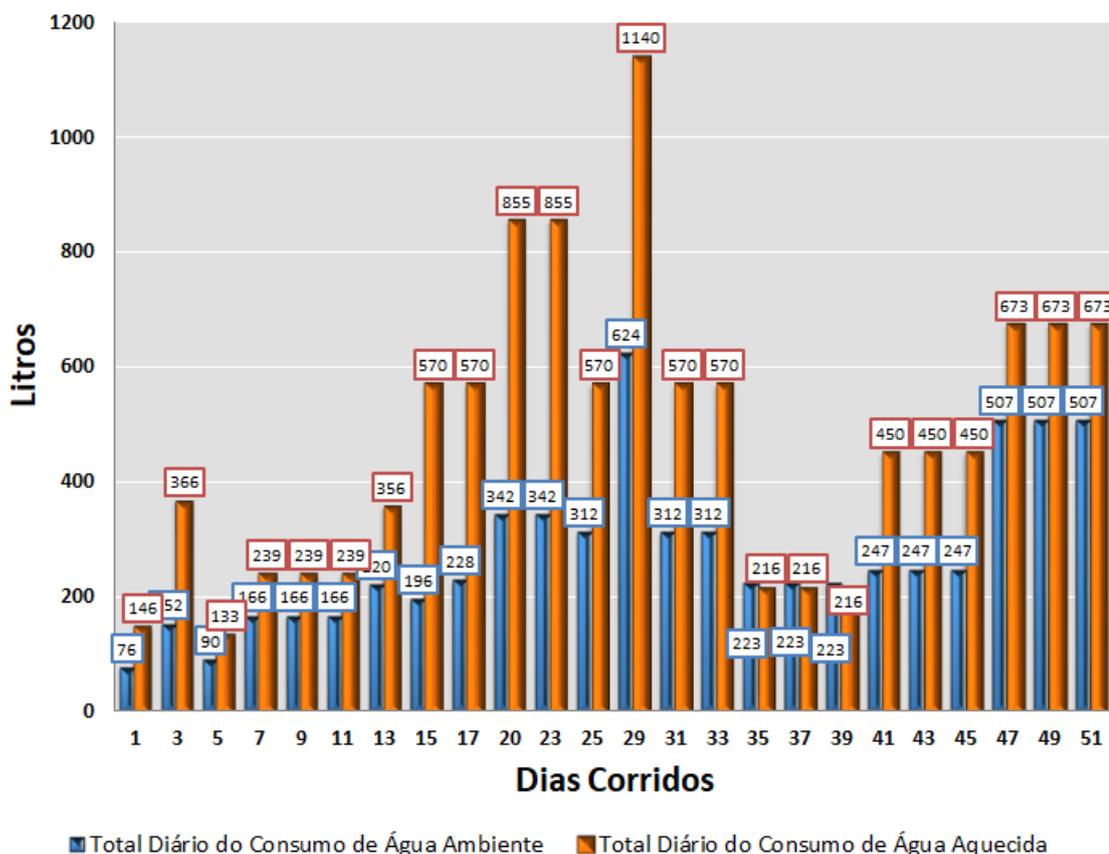
Fonte – Autoral.

Figura 35 – Dados coletados em valores médios por animal.



Fonte – Autoral.

Figura 36 – Dados do Consumo de Água.



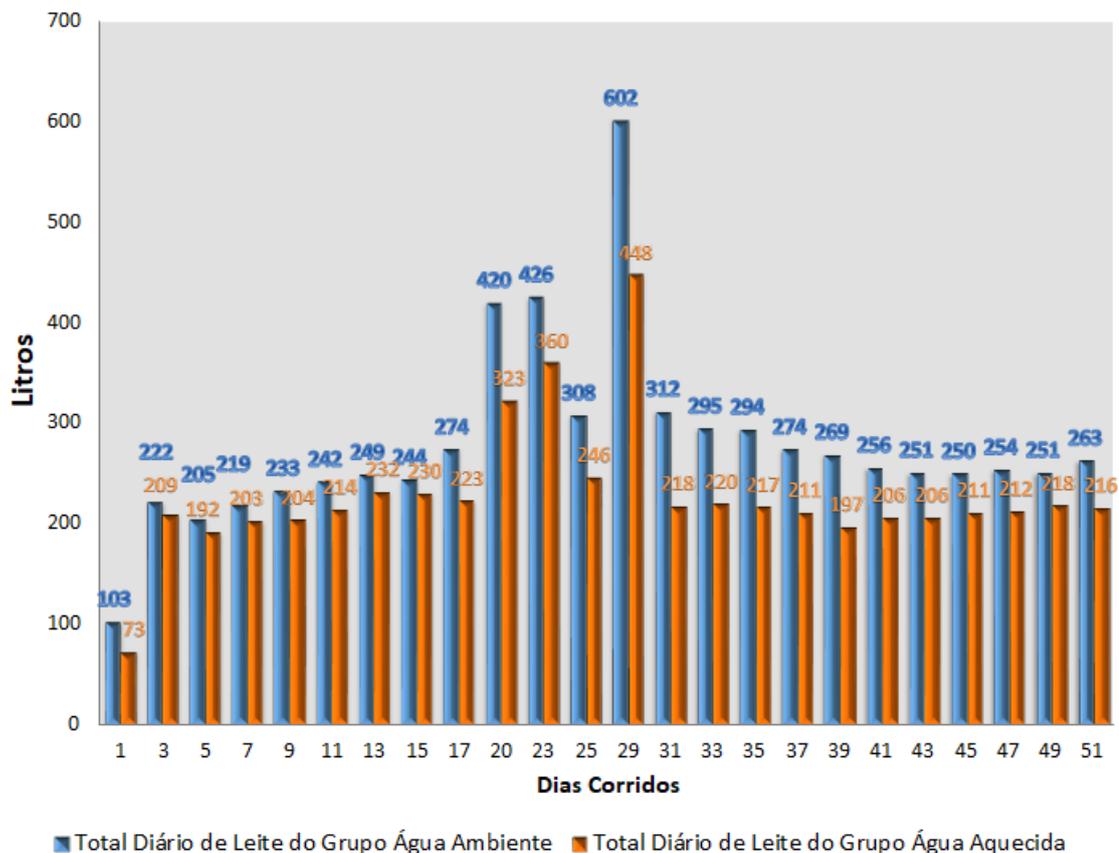
Fonte – Autoral.

de produção de leite para os animais que bebem água aquecida. Os fatores os quais podem ser citados como exemplo: estiagem, grupo da Água Aquecida possuir mais vacas de primeira lactação do que vacas mais adultas, disputa entre animais dominantes e não dominantes na hora da alimentação, as vacas não terem acesso à água enquanto estavam no pasto, não ter uma alimentação balanceada a cada animal, entre outros. Todas estas variáveis podem ser melhor resolvidas com um manejo mais intensivo do que em relação ao sistema extensivo, e obter melhores resultados.

Porém, os demais objetivos propostos para este projeto foram cumpridos. A Tabela 4 mostra uma lista do objetivo e dos resultados obtidos deste projeto em benefício ao gado e ao produtor.

Com os resultados apresentados na tabela anterior, é possível afirmar que o sistema de controle de temperatura da água em bebedouro para o gado leiteiro desenvolvido ajudará o produtor a fornecer um melhor bem estar aos animais, e posteriormente realizar novos experimentos quando a nova infraestrutura da propriedade estiver pronta. Dessa forma, obter melhores resultados para fazer frente às necessidades em termos de aumento de produção de leite.

Figura 37 – Dados Produção de Leite.



Fonte – Autoral.

Em conclusão, para o propósito do sistema automatizado, introduzido anteriormente, pode-se afirmar que o referido cumpre bem a tarefa requisitada. Porém, o objetivo geral de verificar a viabilidade dos sistemas como um produto ainda não pode ser totalmente definido. O consumo de água foi aceito e adequado para o gado leiteiro, mas ainda não foi possível obter um aumento na produção de leite.

Tabela 4 – Objetivos e resultados com a implementação do sistema.

Objetivos	Cumprir objetivo após implementação	Resultados
Entender e encontrar um local acessível na propriedade rural para a instalação dos sistemas		O local encontrado para a instalação foi planejado para que estivesse acessível ao gado leiteiro e também pudesse incidir o máximo de raios solares no painel solar para aquecer a água do reservatório. Além disso, foi planejado a sua construção pensando na localização para que seja utilizado após as melhorias da estrutura para confinar os animais.
Estabelecer os principais benefícios e condições adequadas de consumo de água do gado leiteiro		Através de pesquisas e experimentos citados no trabalho, buscou-se perceber os benefícios citados pelos autores com o intuito de replicar ao experimento deste projeto. Notou-se que os animais tiveram comportamentos normais durante todo o período de análise, não apresentaram nenhuma enfermidade ou gastos com, o produtor relatou que os animais do grupo Água Aquecida se alimentavam nos dias frios com a mesma disposição que nos dias quentes. Enquanto o outro grupo mantinha um comportamento contido para se alimentar.
Desenvolver um sistema de aquecedor solar para ter uma fonte de água quente		Foi desenvolvido um sistema ASBC adaptado para o projeto. Conseguiu-se ter um correto funcionamento como o citado no manual da Sociedade do sol. A temperatura da água no reservatório de água permanecia superior à água em temperatura ambiente, auxiliando para que se pudesse atingir o valor de <i>setpoint</i> no bebedouro.
Desenvolver um sistema de controle de temperatura da água no bebedouro do gado		Com o sistema desenvolvido, o gado consegue consumir uma água em temperatura adequada para sua anatomia e funções biológicas, tendo como base as referências bibliográficas.
Comparar se há diferença de consumo de água sem e com controle de temperatura		Com o sistema criado, o produtor pode avaliar o resultado através da coleta de dados e os relatórios de produção de leite gerados, os quais contêm informações necessárias para proporcionar uma melhor análise através de vários tipos de gráficos, como também acompanhar o comportamento dos animais para que se possa melhorar a produtividade de leite como o produtor deseja ter.
Viabilidade dos sistemas como um produto		Com os dados coletados e analisados nas condições atuais do manejo do gado leiteiro na propriedade rural da família Kohl, o objetivo de viabilizar os sistemas como um produto para o mercado falhou, sem trazer benefícios para uma maior produção de leite.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Com o aumento das exigências da qualidade do mercado e da produção de leite, sendo este último um fator decisivo para obter vantagens competitivas, o produtor Renato Kohl quando proposto o tema deste projeto aceitou disponibilizar sua propriedade e rebanho para a implementação deste experimento. Isso pelo motivo da temperatura da água para as vacas de leite ser um assunto bastante presente nos eventos agropecuários dos quais participa. Neste contexto, o acompanhamento dos objetivos e a comprovação do grande consumo de água aquecida revelaram a importância de implementar um sistema de baixo custo para ver os benefícios aos animais.

Frente ao desafio de auxiliar a propriedade Kohl a aumentar a sua produção de leite, o presente trabalho foi desenvolvido de modo a elaborar um sistema automatizado que controla a temperatura da água para os animais consumirem em condições adequadas à sua anatomia e funções biológicas, bem como viabilizar o sistema como um produto.

Com isso, o primeiro passo do projeto foi analisar e encontrar referências bibliográficas para identificar a temperatura ideal da água para o gado leiteiro consumir. À vista disso, tornou-se possível avançar para as próximas etapas de construção do sistema ASBC.

A construção do sistema de aquecimento solar de baixo custo foi fundamental para contribuir como fonte de água aquecida ao bebedouro e atingir a temperatura desejada para a água. De igual forma, tornou-se viável economicamente por usar pouca energia elétrica pela resistência elétrica. Este aquecedor foi desenvolvido a partir de um modelo de baixo custo e fácil de ser implementado, passando por etapas de construção, sendo que tudo isso foi apoiado e validado pelo supervisor e pelo proprietário. Ao fim da construção desse sistema junto à estrutura do bebedouro, foi possível implementar os equipamentos de instrumentação para controlar a temperatura da água no bebedouro.

Para realizar o controle de temperatura da água no bebedouro, foi desenvolvido um sistema para viabilizar ao produtor um mecanismo de consumo de água em temperatura adequada para que o gado leiteiro e identificar os benefícios relacionados. Ele foi desenvolvido a partir de uma série de requisitos impostos pelo supervisor e o produtor, critérios técnicos e especificações. Com isso, após estas definições, foi possível definir uma metodologia para desenvolver o sistema, com o intuito de aumentar as chances de sucesso do projeto. A metodologia foi sendo realizada em incrementos, possibilitando, em cada um deles, gerar testes, obter novas versões e considerações propostas pelos supervisores.

Ao final do projeto, tornou-se viável entregar o sistema de controle de temperatura da água que atende as necessidades levantadas, o que culminou na sua

utilização no dia-a-dia para fornecer ao gado um nutriente em condição adequada para ser consumido e auxiliando no bem-estar das vacas.

Contudo, o sistema de controle de temperatura apresenta algumas limitações. Um exemplo são os dias em que o céu está encoberto e diminui a eficiência do aquecedor solar para se ter uma fonte de água aquecida disponível. Em uma ampliação do rebanho, mesmo que o intervalo de acesso ao bebedouro pelos animais seja grande, o reservatório de água quente pode não contribuir o suficiente para o aumento da demanda. O tempo e a energia elétrica gastos para atingir a temperatura adequada no bebedouro podem ser afetados em algum momento. Porém, para validar a proposta do trabalho, esta solução (de acordo com os testes feitos e acompanhamentos) se mostrou aceitável.

Em suma, é possível afirmar que o sistema de controle de temperatura elaborado não contemplou todos os objetivos esperados. Com isso, no decorrer do tempo, quando o gado estiver em novas estruturas e sob um novo manejo na propriedade, possivelmente melhores resultados de produção de leite serão observados.

Além disso, do ponto de vista do proprietário, em um primeiro momento, houve uma desconfiança na proposta de como seria realizado este sistema, mas sem nenhuma resistência. Desse modo, no decorrer das incrementações e no dia-a-dia acompanhando o funcionamento, ele pôde observar os benefícios que este sistema proporciona de modo a ajudar com que os animais tenham um melhor bem-estar.

Todavia, o sistema está sendo utilizado na propriedade como um primeiro plano. Posteriormente, ele será utilizado para que ainda se possa verificar as contribuições a um aumento da produção de leite, como também, verificar as suas melhorias necessárias para ser um produto.

Desse modo, espera-se que, ao longo do tempo em que o sistema seja utilizado e melhorado, ocorram três grandes expansões: (1) elaborar um maior reservatório de água quente para poder usar menos a resistência elétrica como atuador e atender a todo o rebanho; (2) implementar uma proteção nas laterais do bebedouro para evitar perturbações do vento; e (3) melhorar o isolamento térmico do reservatório e do bebedouro.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas – Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais.** [S.l.]: Editora UFMG. p. 24, 26, 27. 2004.
- AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas–Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais.** Editora UFMG, p. 35. 2013.
- ALTMANN, W. **Practical process control for engineers and technicians.** Elsevier, p. 13, 14, 24. 2005.
- ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle E Automação de Processos .** Grupo Gen-LTC, 2005.
- ANDERSSON, M. Effects of drinking water temperatures on water intake and milk yield of tied-up dairy cows. **Livestock Production Science**, v. 12, n. 4, p. 329-338, 1985.
- ÅSTRÖM, K. J; HÄGGLUND, T. Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control. *Journal of process control*, v. 14, n. 6, p. 635-650, 2005.
- BARBOSA, O. R. **Influência da temperatura da água de beber no desempenho de animais 7/8 holandes-zebu, na época de verão.** UFV, 1981.
- BEEDE, D. K. COLLIER, R. J. **Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress.** *Journal of animal science*, v. 62, n. 2, p. 543-554, 1986.
- BEGA, E. A. **Instrumentação industrial.** Interciência, p. 1, 7, 11, 12, 13, 14, 26, 36, 37, 38, 41. 2006.
- BERCHIELLI, T. T; FIORENTINI, G. **Performance, carcass traits and rumen fermentation from feedlot nellore cattle fed crude glycerin and virginiamycin.** Monography. Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2006.
- CARDOSO, P. M. **Estudo, proposta e avaliação de novas metodologias de sintonia automática de controladores PID baseadas no ensaio do relé realimentado.** Tese de Doutorado. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica- Universidade Federal de Uberlândia. 2002.
- DEGASPARI, SAR; PIEKARSKI, PRB. **Bovinocultura leiteira: Planejamento. Manejo e Instalações**, p. 207-209, 1998.

DORF, R. C; BISHOP, R. H. **Sistemas de Controle Modernos**, 12^a. Edição, Editora LTC, 2014.

SOCIEDADE DO SOL. **MANUAL DE MANUFATURA E INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL DO-ASBC-AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO**. São Paulo: Sociedade do Sol, 2009.

EPAGRI/CIRAM **Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina**. Disponível em; <<https://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect/>>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

FILIPEFLOP, **Microcontrolador Atmega328 Arduino UNO**, Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

FIALHO, A. **Instrumentação Industrial**. [S.I.]: Érica, p. 11. 2010.

FRANKLIN, G. F; POWELL, J. D; EMAMI-NAEINI, A; POWELL, J. D. **Feedback control of dynamic systems**. [S.I.]: Prentice hall Upper Saddle River, NJ. v. 4. 1993.

GOMES DA SILVA, JM. **Sistemas de Controle. Princípios e métodos de Projeto**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2005.

GUDE, J. J; KAHORAHO, E; ETXANIZ, J. **Practical aspects of PID controllers: An industrial experience**. In: 2006 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. p. 870-878. IEEE, 2006.

HERRERO, M. A. **El agua y su importancia en la producción ganadera**. Geórgica: revista del espacio rural, n. 6, p. 67-86, 1998.

HUNGATE, R. E. **The rumen and its microbes**. Elsevier, p. 273-322. 2013.

HUUSKONEN, A; KHALILI H.. **Computer-controlled milk replacer feeding strategies for group-reared dairy calves**. Livest. Sci. 113:302–306. 2008.

HUUSKONEN, A; TUOMISTO, L; KAUPPINEN, R. **Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves**. Journal of dairy science, v. 94, n. 5, p. 2475-2480, 2011.

JOHNSON, M. A. & MOHAMMAD M. **PID Control – New Design Methods**. Springer-Verlag, London. 2005.

KUO, B. C. **Sistemas de control automático**. Pearson Educación, p. 664-708. 1996.

LANHAM, J. K; COPPOCK, C. E; MILAM, K. Z; LABORE, J. M; NAVE, D. H; STEMER, R. A; BRASINGTON, C. F. **Effects of drinking water temperature on physiological responses of lactating Holstein cows in summer**. Journal of dairy science, v. 69, n. 4, p. 1004-1012, 1986.

LEVINE, William S. **The Control Handbook (three volume set)**. CRC press, 1996.

LOFGREEN, G. P; GIVENS, R. L; MORRISON, S. R; BOND, T. E. **Effect of drinking water temperature on beef cattle performance**. Journal of Animal Science, v. 40, n. 2, p. 223-229, 1975.

LU, C. D. **Effects of heat stress on goat production**. Small Ruminant Research, v. 2, n. 2, p. 151-162, 1989.

MAGAZINE LUIZA., **Timer Analógico Bivolt Automático TMA0BC**. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/timer-analogico-bivolt-automatgico-tma0bc-exatron/p/ajg8jde446/cj/plad/>>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

MAGAZINE LUIZA., **Hidrômetro Residencial Unijato Ecogyrus - Energyrus**. Disponível em: <<https://www.magazineluiza.com.br/hidrometro-residencial-unijato-ecogyrus-energyrus/p/hggg3a3094/cj/htro/>> Acesso em 20 de agosto de 2021.

MANZANO, J. A. N. G. Revisão e Discussão da Norma ISO 5807-1985 (E) **Proposta para Padronização Formal da Representação Gráfica da Linha de Raciocínio Lógico Utilizada no Desenvolvimento da Programação de Computadores a ser Definida no Brasil**. Revisa eletrônica Thesis. São Paulo: Faculdade Cantareira, ano, v. 1, p. 1–31, 2004.

TECNOLOGIA INDUSTRIAL MASTER, **Válvula solenoide pneumática – tipos e funções**. Disponível em; <<https://www.mtibrasil.com.br/artigos/valvula-solenoide>>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

MILAM, K. Z; LANHAM, J. K; COPPOCK, C. E; LABORE, J. M; NAVE, D. H; STEMER, R. A; BRASINGTON, C. F. **Effects of drinking water temperature on production responses in lactating Holstein cows in summer**. Journal of Dairy Science, v. 69, n. 4, p. 1013-1019, 1975.

NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals**. Washington D.C.: National Academy Press, a. p. 152. 1981.

NRC-NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Nutrient requirements of small ruminants**, 2007.

NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requeriments of dairy cattle**. 6.ed. Washington, D.C. 2016. P. 381.

OLIVEIRA NETO, J. B. D; MOURA, A. D. A. A; NEIVA, J. N. M; GUILHERMINO, M. M. **Indicadores de estresse térmico e utilização da somatotropina bovina (bST) em vacas leiteiras mestiças (Bos taurus x Bos indicus) no semi-árido do Nordeste**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, p. 360-367, 2019.

OSBORNE, V. R.; HACKER, R. R.; MCBRIDE, B. W. **Effects of heated drinking water on the production responses of lactating Holstein and Jersey cows**. Canadian journal of animal science, v. 82, n. 3, p. 267-273, 2002.

PHILLIPS, C. L; HARBOR, R. D. **Feedback control systems**. [S.l.]: Prentice-Hall, Inc., 1991.

PINTO, J. E. M. G. **Aplicação prática do método de sintonia decontroladores PID utilizando o método do relé com histerese**. 2014. Diss.(Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ROGER, V; FONTY, G; KOMISARCZUK-BONY, S; GOUET, P. **Effects of physicochemical factors on the adhesion to cellulose avicel of the ruminal bacteria Ruminococcus flavefaciens and Fibrobacter succinogenes subsp. succinogenes**. Applied and Environmental Microbiology, v. 56, n. 10, p. 3081-3087, 1990.

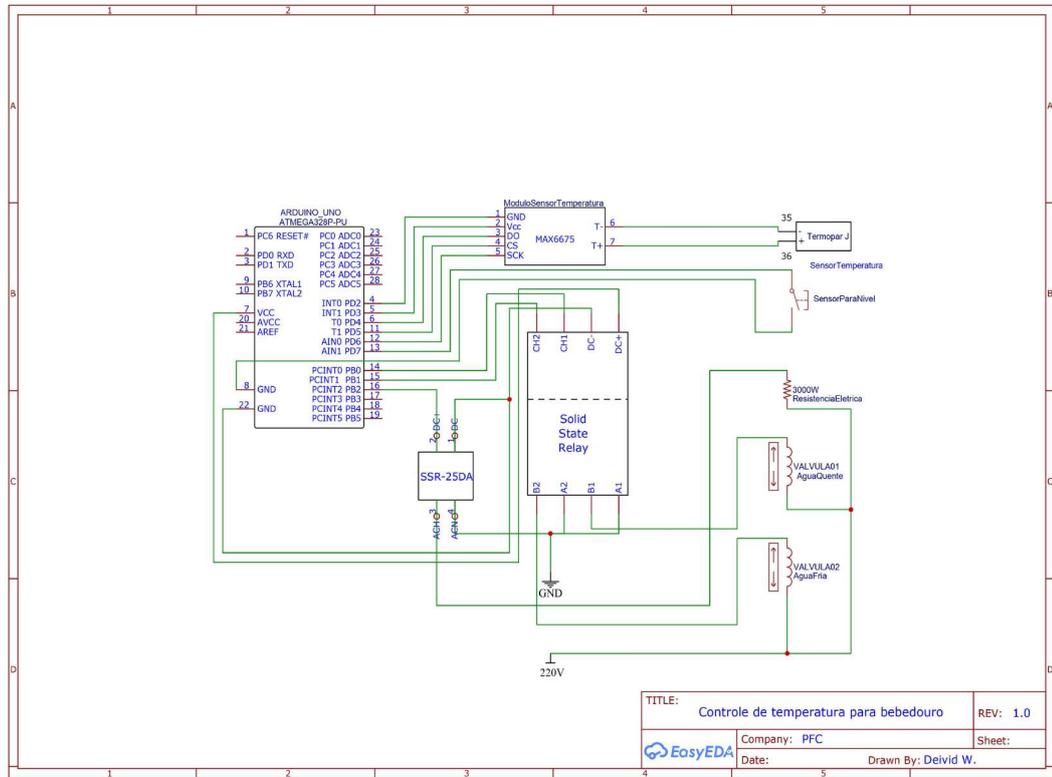
SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2009.

SUBCOMMITTEE ON DAIRY CATTLE NUTRITION. **Nutrient requirements of dairy cattle**. National Academies Press, 2001.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9. ed São Paulo: Pearson Prentice Hall, p. 529. 2011.

SENSORES DE TEMPERATURA. **Sensor de temperatura tipo J**. Disponível em: <<https://www.sensores temperatura.com.br/sensor-de-temperatura-tipo-j>>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

APÊNDICE A – CIRCUITO ELÉTRICO



APÊNDICE B – TABELA DE COMPONENTES DO PROJETO

Item	Ilustração	Descrição do(s) produto(s)	Unid.	Qtde.
1		Modelo: Válvula Solenoide 1/2"; Tamanho: 12,7mm; Normamente Fechada; Tensão: 220V; Temperatura máxima do fluido: 60°C	Unid	2
2		Modelo: Módulo relé de estado sólido; Tensão: 220V 60/50Hz; Tensão de Controle: 5V Velocidade: ~1ms	Unid	2
3		Modelo: Módulo de leitura para Termopar; Chip: MAX6675; Interface: SPI; Temperatura de teste: 0° ~ 1024°C; Resolução: 0,25°C; Tensão: 3.0 ~5,5V; Corrente: 50mA; Temperatura de Trabalho: -20° ~ 85°C;	Unid	1
4		Modelo: Módulo relé de estado sólido; Tensão: 24V - 380V; Tensão de Controle: 3V - 32V	Unid	1
5		Modelo: Resistência Aquecedor Solar Boiler; Material: Aço Inox 304; Tamanho: 300mm; Potência: 3000W; Tensão: 220V	Unid	1

6		<p>Modelo: Microcontrolador ATmega328; Tensão de Operação: 5V; – Tensão de entrada: 7V- 12V; Tensão de entrada (limites): 6V - 20V; – 14 pinos de E / S digitais (6 podem ser saídas PWM); – 6 pinos de entrada analógica; – 40mA de corrente contínua por pino de entrada/saída em 5V; – 50mA de corrente contínua para o pino de 3.3V; – Memória Flash de 32 KB, onde 0,5 KB é usada pelo bootloader; – SRAM de 2 KB; – EEPROM de 1 KB; – Velocidade de clock de 16 MHz;]</p>	Unid	1
7		<p>Modelo: Sensor de Nível Eicos LA16M-40 - Material: POM - Poliacetal (FDA approved) - Porca em PA - Pressão máx. de trabalho: 2bar - Temp. de trabalho: -10°C a 100°C - Densidade mín. do líquido (SG): 0,76 - Peso: 30g - Saída: Contato On/Off - Características elétricas: NA/NF – SPST - Conexão elétrica: Cabo 2 x 0,5mm² x 40cm - Grau de proteção: IP66 - Montagem: Lateral interna em furo de Ø16mm - Vedação: Arruela NBR (borracha nitrílica) - Espessura máx. parede reservatório: 9mm - Raio mín. reservatório cilíndrico: 150mm</p>	Unid	1
8		<p>Modelo: Sensor de temperatura Termopar Tipo J; Material: Inox e cabo com blindagem; Comprimento de cabo: 1,5m; Faixa de operação: -70°C a 700°C</p>	Unid	1
9		<p>Modelo: Terminal Elétrico Olhal Pre-Isolado; Diâmetro furo: 4mm; Bitola Cabo: 6mm</p>	Unid	2
10		<p>Modelo: Quadro Comando Sobrepor plástico transparente com placa; Dimensões: 220x160x120mm; Grau de Proteção: IP-54</p>	Unid	1

11		Modelo: Galão plástico; Capacidade: 200 litros	Unid	2
12		Modelo: Barra de PVC para forro; Dimensões: 600 x 20 x 1 cm	Unid	3
13		Modelo: Tubo Soldável; Dimensões: 600 x 3,2 cm	Unid	1
14		Modelo: Joelho 90° Soldável;	Unid	3
15		Modelo: Cap Soldável; Dimensão: 32mm	Unid	2
16		Modelo: Resina Isofáltica; Volume: 1 litro	Unid	1
17		Modelo: Massa Plástica com Catalisador; Massa: 400g	Unid	1

18		Modelo: Abraçadeira de metal; Diâmetro: 30 a 32 mm	Unid	4
19		Modelo: Magueira Cristal; Diâmetro: 1"	Metro	2
20		Modelo: Boia de nível; Diâmetro: 1/2"	Unid	1
21		Modelo: Flange; Diâmetro: 32mm	Unid	2
22		Modelo: Flange; Diâmetro: 3/4mm	Unid	2
23		Modelo: Adaptador; Diâmetro: 3/4" x 1/2"	Unid	1
24		Modelo: Adaptador; Diâmetro: 3/4" x 3/4"	Unid	5
25		Modelo: Adaptador; Diâmetro: 25mm x 3/4"	Unid	1

26		<p>Modelo: Fita Crepe; Comprimento: 20m</p>	Unid	1
27		<p>Modelo: Fita isolante; Comprimento: 10m</p>	Unid	3
28		<p>Modelo: Magueira Preta de água; Diâmetro: 3/4"</p>	Metro	100
29		<p>Modelo: Hidrômetro</p>	Unid	2

APÊNDICE C – CÓDIGO DO CONTROLADOR ATMEGA328 EM C/C++

```

#include <max6675.h>           //biblioteca do MAX6675
#include <PID_v2.h>           //biblioteca para o uso do PI

// =====
// --- Mapeamento de Hardware ---
int gndPin = 2;              //Declara porta como GND
int vccPin = 3;              //Declara porta como VCC

// =====
// --- Hardware do MAX6675 ---
#define termoDO      6        // Pino SO
#define termoCS      5        // CS
#define termoCLK     4        // Pino CLK (ou SCK)

/* Criação de objeto para comunicação com termopar */
MAX6675 termopar(termoCLK, termoCS, termoDO); //Cria objeto para termopar e MAX6675

// sensor de nível
const int pinoNivel = 7;     // Pino digital utilizado pela chave final de curso do nível

// válvula de entrada de água quente
const int solenoid1 = 8;

// válvula de entrada de água fria
const int solenoide2 = 9;

//pino do atuador -> resistência que aquece a água do bebedouro
const int resistencia = 10;

//variáveis relacionadas ao tempo
long Time = 0;
float n = 1000.0;
long lastProcess = 0;

//Temperatura de referência para o atuador resistência
float tref = 27;

//variáveis do controlador
float temp_lida = 0.0;
float temp_ref = 27;
float PI_erro = 0;
//float erro_post = 0;
int PI_valor = 0;

```

```
//PI constantes
int kp =85; int ki = 1;
int PI_p = 0; int PI_i = 0;

void setup() {

  // Uso dos pinos no Arduino
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);
  Serial.begin(9600);

  pinMode(pinoNivel, INPUT_PULLUP); //Define o pino como entrada / "_PULLUP"é para ativar o resistor interno do
  //do arduino para garantir que não exista flutuação entre 0 (LOW) e 1 (HIGH)
  pinMode(solenoid1, OUTPUT);
  pinMode(solenoid2, OUTPUT);
  pinMode(resistencia, OUTPUT);

  //Estado inicial dos reles - para desligar os atuadores
  digitalWrite(solenoid1, HIGH);
  digitalWrite(solenoid2, HIGH);
  digitalWrite(resistencia, LOW);

  Serial.println("MAX6675 test");
  delay(500); //espera para o módulo Max se estabilizar
  Time = millis(); //variável de tempo em milisegundos
}

void loop() {

  if(digitalRead(pinoNivel) == LOW){ //se nível de água alto
    digitalWrite(solenoid1, HIGH); //Desliga solenoid1
    digitalWrite(solenoid2, HIGH); //Desliga solenoid2
    float deltaTime = (millis() - lastProcess)/n; //cálculo da diferença de tempo em segundos
    lastProcess = millis();

    //variável temp_lida possui valor da temperatura
    temp_lida = termopar.readCelsius();

    //Calculamos o erro entre o ponto de ajuste e o valor real
    PI_erro = temp_ref - temp_lida;

    //Calcula o valor de P
    PI_p = kp * PI_erro ;
  }
}
```

```
//Calculamos o erro entre o ponto de ajuste e o valor real
PI_erro = temp_ref - temp_lida;

//Calcula o valor de P
PI_p = kp * PI_erro ;

//Calcula o valor de I em um range de -2 a +3
if(-2< PI_erro <3){
    PI_i = PI_i + (ki * PI_erro) * deltaTime;
    // A_i = A_i + PI_erro*deltaTime;
    //PI_i = Ki*A_i;
}
//else{ PI_i =0;          }

//Total final do valor PI é a soma de P + I
PI_valor = PI_p + PI_i;

// Define a faixa de PWM entre 0 e 255 e Efeito Anti-Windup
if(PI_valor < 0)
{
    PI_valor = 0;
    PI_i =0;
}
if(PI_valor > 255)
{
    PI_valor = 255;
    PI_i =0;
}

// Agora podemos escrever o sinal PWM para o atuador no pino digital 10
analogWrite(resistencia,PI_valor);

Serial.print(lastProcess);
Serial.print(";");
Serial.print(temp_lida);
Serial.print(";");
Serial.print(temp_ref);
Serial.print(";");
Serial.print(PI_valor);
Serial.println(";");

delay(5000);
}
```

```
// se nível baixo, resistência é desligada e ativa a válvula quente até 25°C ou nível cheio
if((digitalRead(pinoNivel) == HIGH) && (termopar.readCelsius() < 25)){
    digitalWrite(resistencia, LOW);          //Desliga resistência
    digitalWrite(solenoid1, HIGH);         //Liga solenoid1
    digitalWrite(solenoid2, LOW);         //desliga solenoid2
    Time = millis();
    Serial.print(Time);
    Serial.print(";");
    Serial.print("ligou quente");
    Serial.print(";");
    Serial.println(termopar.readCelsius());
    delay(5000);
}

// se nível baixo, resistência é desligada e ativa a válvula fria até 25°C ou nível cheio
if((digitalRead(pinoNivel) == HIGH) && (termopar.readCelsius() >= 28)){           //Se temperatura acima de 28°C
    digitalWrite(resistencia, LOW);          //Desliga resistência
    digitalWrite(solenoid1, LOW);           //Desliga solenoid1
    digitalWrite(solenoid2, HIGH);         //Liga solenoid2
    Time = millis();
    Serial.print(Time);
    Serial.print(";");
    Serial.print("ligou frio");
    Serial.print(";");
    Serial.println(termopar.readCelsius());
    delay(5000);
}

// se nível baixo, resistência é desligada e ativa as válvulas fria até nível cheio
if((digitalRead(pinoNivel) == HIGH) && (termopar.readCelsius() >= 25) && (termopar.readCelsius() < 28)){
    digitalWrite(resistencia, LOW);          //Desliga resistência
    digitalWrite(solenoid1, LOW);           //Liga solenoid1
    digitalWrite(solenoid2, LOW);         //Liga solenoid2
    Time = millis();
    Serial.print(Time);
    Serial.print(";");
    Serial.print("enchendo junto");
    Serial.print(";");
    Serial.println(termopar.readCelsius());
    delay(5000);
}

delay(500);
}
```