

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**DEIVIS OLIVEIRA ROSSONI**

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM PROTÓTIPO DE CONTROLE DE  
TEMPERATURA PARA ESTUFAS DE PINTURA AUTOMOTIVA**

**PORTO ALEGRE**

**2023**

### Catálogo de Publicação na Fonte

R838d Rossoni, Devis Oliveira.

Desenvolvimento e teste de um protótipo de controle de temperatura para estufas de pintura automotiva. / Devis Oliveira Rossoni – Porto Alegre, 2023.

48f., il.

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul; Curso Superior de Tecnologia de Automação Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2023.

1. Protótipo. 2. Controle de Temperatura. 3. Estufas de Pintura Automotiva. 4. Desenvolvimento e Teste. Soares, André Borin. II. Título.

**DEIVIS OLIVEIRA ROSSONI**

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM PROTÓTIPO DE CONTROLE DE  
TEMPERATURA PARA ESTUFAS DE PINTURA AUTOMOTIVA**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

**PORTO ALEGRE**

**2023**

**DEIVIS OLIVEIRA ROSSONI**

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM PROTÓTIPO DE CONTROLE DE  
TEMPERATURA PARA ESTUFAS DE PINTURA AUTOMOTIVA**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

Aprovado em: 07/ 12 / 2023

**BANCA EXAMINADORA**



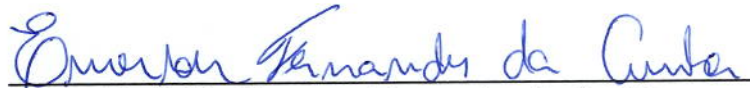
---

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



---

Prof. Dr. João Alvarez Peixoto  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS



---

Prof. Me. Emerson Fernandes da Cunha  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

**PORTO ALEGRE**

**2023**

“Não faça da tua vida um rascunho.  
Poderás não ter tempo de passá-la a  
limpo.”

Mario Quintana

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar tempo e saúde de concluir esta graduação.

Agradeço a minha esposa Elaine Fatima Sobrinho, meus filhos Hanry Henk Rossoni e Nathan Henk Rossoni, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência.

Agradeço a minha mãe Leci Oliveira e meu irmão Everton Oliveira pela estrutura familiar.

As minhas avós Marlene Batastini e Lea Rossoni (*in memoriam*) se deram uma cadeira, mas faz!

Agradeço as empresas Conceptcars, Orbeconecta, Electricosound, MBL, M.R.garege onde prestei serviço durante a minha graduação.

Ao Orientador Dr. André Borin por orientar o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

## RESUMO

Este projeto se concentra no desenvolvimento e teste de um protótipo de controle de temperatura para estufas de pintura automotiva. O controle de temperatura é um aspecto fundamental em uma ampla gama de aplicações, desde usos cotidianos, como um ferro de passar, até aplicações industriais complexas, como grandes estufas de pintura. No contexto da pintura automotiva, o controle preciso da temperatura é essencial para garantir a aderência adequada da tinta à superfície do veículo. Uma temperatura mal controlada pode levar a uma série de problemas, incluindo a formação de bolhas na pintura, aderência inadequada e, em última instância, a necessidade de retrabalho dispendioso e demorado. O sistema de controle de temperatura proposto neste projeto é baseado em um sensor que fornece um sinal para um controlador. Este controlador, por sua vez, ajusta a temperatura para atingir um valor pré-definido, conhecido como *setpoint*. Este processo de ajuste é realizado através da alteração da saída do microcontrolador, que pode envolver a ativação ou desativação de um elemento de aquecimento. O projeto do sistema de controle de temperatura é de malha fechada. Em uma malha fechada, verificações contínuas são realizadas para garantir que a temperatura esteja o mais próximo possível do valor preestabelecido. Isso é conseguido através da comparação constante da temperatura atual (como medida pelo sensor) com o *setpoint* e fazendo ajustes conforme necessário.

A implementação bem-sucedida deste sistema tem o potencial de levar a melhorias significativas na qualidade da pintura automotiva. Além disso, pode aumentar a eficiência do processo de pintura, reduzindo a necessidade de retrabalho e minimizando o desperdício de material. Ao final, este trabalho contribui para um processo de pintura automotiva mais eficiente e produtiva.

**Palavras-chaves:** Protótipo. Controle de Temperatura. Estufas de Pintura Automotiva. Desenvolvimento e Teste.

## ABSTRACT

This project focuses on the development and testing of a temperature control prototype for automotive paint booths. Temperature control is a fundamental aspect in a wide range of applications, from everyday uses such as an iron, to complex industrial applications such as large paint booths. In the context of automotive painting, precise temperature control is essential to ensure proper paint adhesion to the vehicle's surface. Poorly controlled temperature can lead to a series of problems, including the formation of bubbles in the paint, inadequate adhesion, and ultimately, the need for costly and time-consuming rework. The proposed temperature control system in this project is based on a sensor that provides a signal to a controller. This controller, in turn, adjusts the temperature to reach a predefined value, known as the setpoint. This adjustment process is carried out by changing the output of the microcontroller, which may involve activating or deactivating a heating element. The design of the temperature control system is closed-loop. In a closed loop, continuous checks are performed to ensure that the temperature is as close as possible to the preset value. This is achieved by constantly comparing the current temperature (as measured by the sensor) with the setpoint and making adjustments as necessary. The successful implementation of this system has the potential to lead to significant improvements in the quality of automotive painting. In addition, it can increase the efficiency of the painting process, reducing the need for rework and minimizing material waste. In the end, this work contributes to a more efficient and productive automotive painting process.

**Keywords:** Prototype. Temperature Control. Automotive Paint Booths. and Development and Testing.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cabine <i>HOS Testing</i> .....	14
Figura 2 - Sistema de Controle de Malha fechada.....	19
Figura 3 - Função de transferência de um sistema de malha fechada.....	19
Figura 4 - Controlador w1401.....	20
Figura 5 - Controlador na malha do sistema.....	21
Figura 6 - Placa PTC 220 V, 400 W.....	22
Figura 7 - Maquete inicial da estufa de pintura.....	28
Figura 8 - Atuador responsável pelo aquecimento.....	29
Figura 9 - Instalação do filtro de ar e dutos para recirculação.....	29
Figura 10 - Diagrama de ligação dos elementos do circuito.....	30
Figura 11 - Detalhe da montagem final da parte eletrônica.....	31
Figura 12 - Experimento montado para análise.....	33
Figura 13 - Protótipo da estufa.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de temperatura.....	34
Tabela 2 - Materiais e equipamentos utilizados.....	34
Tabela 3 - Diferença relativa entre valores desejados e os valores alcançados.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
CLP	Controlador lógico programável.
IHM	Interface humano-máquina.
LCD	<i>Liquid-crystal display</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
PTC	<i>Positive temperature coefficient</i>
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROBLEMÁTICA.....	13
1.2 HIPÓTESE.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
<b>2.1.1 Sistema de Aquecimento.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2 Controle de Processos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.3 Sistema de Controle.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4 Controle de Malha Fechada.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.5 Sistema de malha fechada com controle do tipo <i>On-Off</i></b>	<b>19</b>
<b>2.1.6 Controlador.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.7 Atuador.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.8 Elementos PTC como aquecedores de regulação.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.9 Arduíno Mega.....</b>	<b>23</b>
2.2 REFERENCIAIS DE PESQUISA.....	23
<b>2.2.1 Desenvolvimento de uma estufa microcontrolada via Arduíno para controle da temperatura e umidade do ar de microscópios ópticos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 Análise Da Implementação Do Controle De Temperatura Em Uma Indústria Automotiva.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Estufa Automatizada Utilizando Arduíno.....</b>	<b>24</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	26
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA.....	26
3.3 MÉTODO APLICADO.....	26
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>5 ANÁLISE.....</b>	<b>36</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE A - FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS NA MÁQUINA.....</b>	<b>41</b>
<b>APÊNDICE B - CÓDIGO DO MICRO CONTROLADOR ARDUÍNO.....</b>	<b>42</b>
.....	46

<b>ANEXO A - PARÂMETROS DO CONTROLADOR W1401.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO B - PARÂMETROS DO PTC.....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o objetivo de obter um acabamento de alta qualidade em uma estufa de pintura automotiva e garantir uma aplicação de tinta precisa, é muito importante manter o ambiente limpo e funcional. Vários tipos de impurezas, podem ser transportados de um ambiente externo para um ambiente interno por humanos, animais e pelo ar, podendo contaminar o ambiente e os objetos nele contidos, incluindo a cabine de pintura (Dannemiller *et al.*, 2017).

Uma cabine de pintura é uma instalação especializada que oferece um ambiente controlado para a aplicação precisa e uniforme de tintas e revestimentos em diversas superfícies. Sua função primordial é fornecer um espaço limpo, isento de poeira e impurezas, onde a pintura pode ser aplicada de maneira consistente. Isso assegura uma qualidade de acabamento excepcional. A cabine é projetada para manter uma temperatura estável, o que é crucial para a aplicação eficaz da tinta (Globalfinishing, 2022).

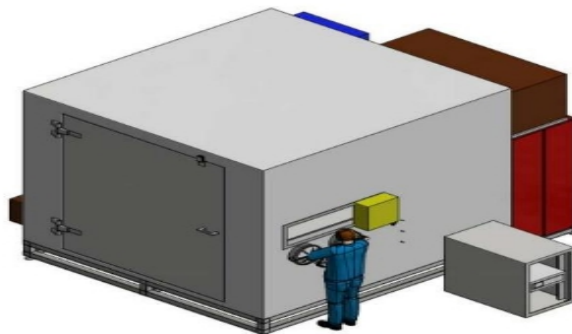
### 1.1 PROBLEMÁTICA

Com o mesmo pensamento, os operadores de cabines de pintura têm investido cada vez mais em encontrar formas de aumentar a eficiência da pintura, bem como torná-la independente das variações ambientais, evitando a influência de condições adversas, como por exemplo: poeira, umidade excessiva e outras adversidades que podem comprometer a qualidade da pintura. As cabines de pintura controladas são uma alternativa extremamente vantajosa quando se deseja ter controle total sobre o ambiente de pintura. Dentre os parâmetros que podem ser controlados, pode-se citar: temperatura, umidade, ventilação, luminosidade, dentre outros. Assim, controlar esses parâmetros permite garantir que a cabine de pintura esteja sempre nas condições ideais para a aplicação da tinta, independentemente das condições externas. Isso não apenas melhora a qualidade da pintura, mas também aumenta a eficiência do processo, reduzindo o desperdício de tinta e o tempo necessário para a pintura.

## 1.2 HIPÓTESE

A hipótese do projeto é implantar um sistema que tenha a capacidade de acompanhar e controlar a temperatura do ambiente. Dependendo do tipo de estufa, diferentes tecnologias de automação industrial são aplicadas. Entre elas, se pode mencionar os dispositivos como termostatos, janelas automáticas, condicionadores de ar e desumidificadores, além de controladores lógicos programáveis (CLPs) e interfaces homem-máquina (IHMs) (Morimoto e Hashimoto, 2000). Uma opção a esses equipamentos industriais são os Arduinos, que são uma plataforma de programação de baixo custo, conveniente e além de permitir a integração fácil com sensores (Siddiqui *et al.*, 2017; Schiavin *et al.*, 2019). A Figura 1 mostra o operador em uma janela de supervisão cabine *Hostesting*.

Figura 1 - Cabine *HOS Testing*



Fonte: *HOS TESTING TECHNOLOGY LIMITED*(2021).

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é construir uma estufa em escala reduzida, utilizando um *rack* de servidor de 82 litros como estrutura. Pretende-se criar um ambiente controlado que seja semelhante ao de uma estufa real. Para isso, planeja-se implementar um sistema de aquecimento eficaz usando uma placa de aquecimento PTC de 220 V, 400 W, um sistema de iluminação com refletores de 10 W IP66, e um sistema de exaustão com três *cooler* de 12 V. Além disso, pretende-se controlar o funcionamento da estufa, incluindo a iluminação, o aquecedor e a exaustão, através

de um sistema composto por 5 relés, 5 botões e 5 LEDs. Este sistema será gerenciado por um microcontrolador Arduino. Um *display* será usado para informar os parâmetros de umidade e temperatura. Como medida de segurança, em caso de falhas, planeja-se utilizar o controlador W1401 de 12V. O objetivo deste trabalho é utilizar as tecnologias de automação para desenvolver um protótipo de uma cabine de pintura de baixo custo, garantindo a qualidade da pintura e a preservação ambiental através do controle e monitoramento da temperatura do ambiente.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Dentro deste tópico são expostos os fundamentos teóricos indispensáveis para a interpretação dos aspectos deste trabalho.

Com o objetivo de apresentar um protótipo de uma estufa, pode-se dividir em partes distintas: *hardware*, com os seus componentes elétricos e o *software* para este protótipo com o objetivo proposto dentro deste trabalho.

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção fornece a base teórica necessária para entender os conceitos e princípios subjacentes do protótipo. Ela é dividida em várias subseções para facilitar a compreensão.

#### 2.1.1 Sistema de Aquecimento

Para compreender a mudança de temperatura se tem que estudar os parâmetros que o sistema ira apresentar.

De acordo com (Serway, 2008), o calor é definido como a energia térmica que se move de um objeto para outro devido à diferença de temperatura entre eles. A termodinâmica é uma área da física que estuda as relações entre calor e outras formas de energia. No contexto do aquecimento, a termodinâmica é fundamental para entender como a energia é transferida e convertida.

Primeira Lei da Termodinâmica: Também conhecida como a lei da conservação de energia, afirma que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. No contexto do aquecimento, isso significa que a energia térmica (calor) pode ser convertida em outras formas de energia e vice-versa.

Segunda Lei da Termodinâmica: Afirma que a entropia, que é uma medida do grau de desordem de um sistema, sempre aumenta em um sistema isolado. Isso significa que a energia sempre flui de áreas de maior temperatura para áreas de menor temperatura, o que é a base do processo de aquecimento.

Terceira Lei da Termodinâmica: Afirma que a entropia de um sistema perfeito cristalino em zero absoluto é zero. Isso significa que à medida que a temperatura de

um sistema se aproxima do zero absoluto, a quantidade de energia térmica no sistema também se aproxima de zero.

No contexto do aquecimento, a termodinâmica ajuda a entender como a energia térmica é gerada, como ela é transferida de um lugar para outro e como ela pode ser convertida em outras formas de energia. Isso é crucial para muitas aplicações, desde o aquecimento de nossas casas até o funcionamento de motores e usinas de energia. A termodinâmica também é fundamental para entender os limites da eficiência energética e para desenvolver tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

### **2.1.2 Controle de Processos**

O controle de processos tem uma história rica que remonta ao início da Revolução Industrial. Durante esse período, as condições de trabalho eram extremamente difíceis e os ambientes eram hostis. Os artesãos eram forçados a trabalhar até dezoito horas por dia para atender às necessidades da população e enriquecer seus senhores.

No século XIX, se começa a ver o início da automação industrial, marcada pela criação e implementação de dispositivos mecânicos conhecidos como relés. Este período também foi marcado pela substituição do ferro pelo aço, a evolução das fontes de energia e o crescimento e estruturação das fábricas na Europa e nos Estados Unidos.

A sociedade estava mudando e se atualizando, e com isso surgiram novas necessidades. No entanto, o interesse da indústria permaneceu o mesmo: alta produtividade, maior qualidade para competitividade, maior lucro e menor custo. Em 1968, nos Estados Unidos, surgiu o *Modular Digital Controller* (MODICON), o primeiro Controlador Lógico Programável. Esta invenção reduziu o espaço ocupado pelas antigas máquinas de controle, aumentou a produção e melhorou a flexibilidade e eficiência do processo produtivo.

A inovação não parou por aí. Logo veio a necessidade de um controle mais rigoroso dos processos, que dependesse cada vez menos da intervenção humana. Foi quando surgiram os diversos controles, incluindo o controle de temperatura, que será mais detalhado nos próximos tópicos. No entanto, antes de entendermos mais

sobre esse tipo de controle, é necessário reafirmar alguns conceitos pertinentes.

### **2.1.3 Sistema de Controle**

A pintura automotiva, em determinadas situações, só pode ser efetuada se as peças estiverem nas condições pré-definidas pelos estudos de processo. Em alguns desses casos, a temperatura é um fator crucial, pois a peça precisa ser aquecida para facilitar o processo de pintura e evitar problemas de qualidade que podem levar ao descarte da peça.

O controle de temperatura, realizado por meio de um termostato, é essencial para manter as condições ideais para a pintura. É importante destacar que, sem um controle de temperatura adequado, podem surgir problemas como a necessidade de intervenção constante do operador ou a perda de peças em algum reprocesso.

Os sistemas térmicos são conhecidos por terem um comportamento de primeira ordem. Isso significa que a resposta do sistema a uma mudança é proporcional à magnitude da mudança, mas diminui com o tempo. Em outras palavras, os sistemas térmicos respondem rapidamente a mudanças, mas a taxa de resposta diminui ao longo do tempo.

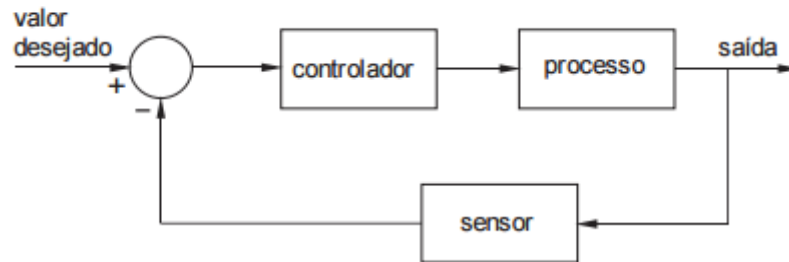
### **2.1.4 Controle de Malha Fechada**

Como o nome indica, esse tipo de Controle tem como objetivo manter a saída o mais próximo possível do valor estabelecido, através de comparações contínuas. Essas comparações são possíveis porque a informação “permanece” no sistema, ou seja, a saída é realimentada para comparação com o *setpoint* (valor padrão), gerando um “erro” que o sistema interpreta como a diferença necessária para atingir os parâmetros estabelecidos, eliminando assim qualquer desvio.

Também conhecido como controle de *feedback*, o controle de malha fechada como mostrado na Figura 2 oferece alta confiabilidade aos usuários, pois é menos suscetível a perturbações externas. Além disso, é mais preciso devido às suas constantes comparações, que permitem cumprir as determinações programadas e estabilizar o processo, algo que não ocorreria em um sistema de malha aberta.

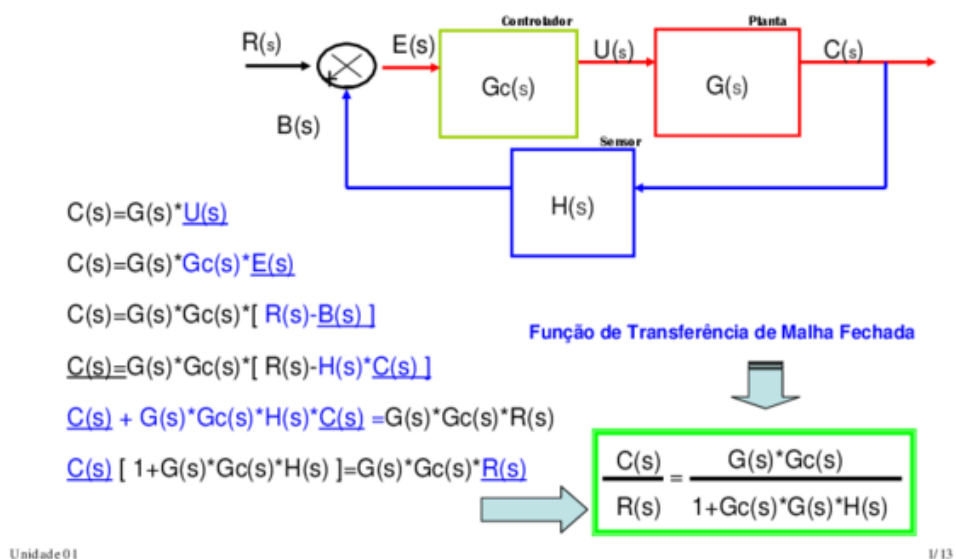
Um sistema com controle em malha fechada terá uma função de transferência conforme mostrado na Figura 3.

Figura 2 - Sistema de Controle de Malha fechada.



Fonte: Santos (2023)

Figura 3 - Função de transferência de um sistema de malha fechada.



Fonte: Bento (2021).

### 2.1.5 Sistema de malha fechada com controle do tipo *On-Off*

Este tipo de controle é o mais básico. Ele opera apenas com polaridades, ou seja, o atuador funcionará em potência máxima ou será desligado. No caso do controle de temperatura que será discutido, este sistema irá comparar a saída do sistema com o valor desejado e, se estiver fora dos limites máximo e mínimo, o

atuador será imediatamente ativado em sua potência máxima ou desligado para cumprir os pré-requisitos previamente inseridos.

Em geral, os controles *on-off* usam relés para ligar ou desligar o elemento atuador, realizando a função de ligar-desligar.

### 2.1.6 Controlador

O controlador atua como o cérebro do sistema de controle de temperatura. Ele recebe constantemente dados do sensor, que mede a temperatura atual. O controlador então compara essa temperatura medida (saída real) com a temperatura desejada (*setpoint*).

Se houver uma diferença entre a temperatura medida e a desejada, o controlador entra em ação. Ele realiza cálculos para determinar como ajustar a saída do sistema para alinhar a temperatura medida com a desejada.

Depois de determinar o ajuste necessário, o controlador envia essas informações para o atuador. O atuador, então, faz as alterações necessárias para corrigir a temperatura e alinhá-la com os parâmetros pré-definidos.

O controlador W1401 é utilizado no projeto para garantir a segurança caso o sensor de umidade e temperatura venha a falhar. Em uma eventual situação de *overshoot* de temperatura, ele desliga na temperatura máxima programada. No entanto, durante o restante do projeto, quem controla a temperatura é o código do Arduino. O controlador de temperatura w1401 pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Controlador w1401

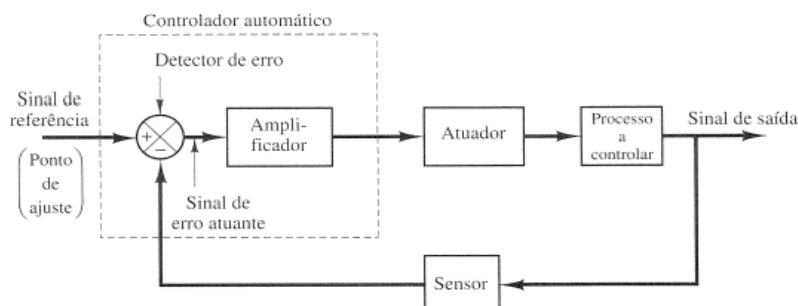


Fonte: Autor (2023).

Na Figura 5 é mostrada a posição do controlador e sua função na malha de

controle.

Figura 5 - Controlador na malha do sistema.



Fonte: Autor (2023).

### 2.1.7 Atuador

O atuador é o componente que realiza a ação necessária para ajustar a temperatura, com base nas informações recebidas do controlador. Ele pode ligar ou desligar o elemento de aquecimento para manter a temperatura estável. O atuador é uma resistência que é ligada ou desligada de acordo com as instruções recebidas.

Como o sistema é de malha fechada, verificações contínuas são realizadas. Isso significa que a resistência será desligada quando a temperatura atingir o valor máximo permitido. Isso ajuda a manter a temperatura dentro dos limites pré-definidos e a evitar superaquecimento.

### 2.1.8 Elementos PTC como aquecedores de regulação

O coeficiente de temperatura positiva (PTC - *Positive Temperature Coefficient*) tem como características uma gama de dispositivos  $T_c$  disponíveis entre os 30 °C e os 240 °C e tensões entre 24 V a 240 V (DC).

Segundo Atcsemitec (2023) ao aplicar uma tensão em um termistor PTC, a corrente começará a fluir e a aquecer o material PTC. A temperatura do elemento PTC aumenta até atingir seu ponto de Curie, quando sua resistência aumentará exponencialmente. O aumento da resistência do PTC limita a corrente até que o aquecedor PTC atinja um estado de equilíbrio. Se o calor for retirado do PTC, sua resistência diminuirá, permitindo que mais corrente passe pelo PTC até que a

condição de estado estacionário seja atingida novamente. Por outro lado, se a temperatura do elemento PTC aumentar, sua resistência aumentará de acordo, reduzindo a corrente até que um novo estado de equilíbrio seja alcançado. Assim, um termistor PTC pode funcionar como um aquecedor autoregulável.

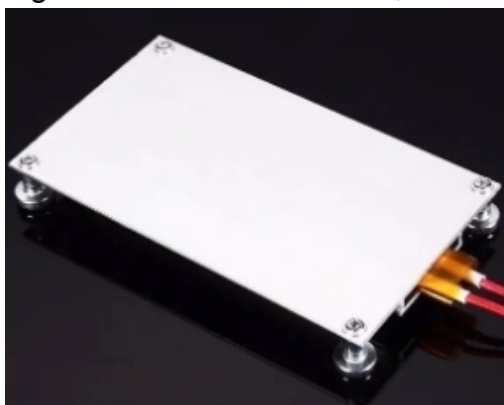
Segundo (Webber, 2023) Os elementos de aquecimento PTC substituem o tradicional fio de resistência por chips de cerâmica de estado sólido. Os materiais cerâmicos especialmente projetados representam uma melhoria significativa em relação aos aquecedores de arame enrolado. Um elemento de aquecimento PTC é uma resistência cerâmica que aumenta sua resistência à medida que a temperatura sobe. Esses pequenos elementos de aquecimento de alta potência e eficiência energética permitem uma excelente produção e transferência de calor em espaços minúsculos.

Esses dispositivos de aquecimento únicos são usados em várias aplicações onde é necessário um aquecimento rápido e uniforme, como sistemas de controle de tráfego, equipamentos médicos, comunicações, agricultura, equipamentos industriais, aeroespacial, transporte e até os mais recentes carros elétricos.

Os elementos essenciais são pequenos discos de materiais cerâmicos quimicamente compactados com elementos de terras raras que produzem suas características de aquecimento e resistência. Os discos cerâmicos incorporados em estruturas de transferência de calor de alumínio ou aço inoxidável transferem o calor dos discos para o ar ou para outros materiais.

Um elemento que pode ser utilizado para fornecer calor para um ambiente é a placa de aquecimento PTC. Esta placa pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 - Placa PTC 220 V, 400 W.



Fonte: Zhjihx (2023).

### 2.1.9 Arduíno Mega

O Arduíno Mega é uma compacta placa de microcontrolador equipada com uma conexão USB, o que facilita a sua ligação a um computador. Trata-se de uma plataforma de computação física de código aberto, fundamentada em uma placa de entrada/saída simples e intuitiva.

As características do Arduíno Mega são:

- a) Microcontrolador ATmega 2560 com *clock* de 16 MHz;
- b) Regulador de 5 V (AMS1117 – 1 A);
- c) Regulador de 3,3 V (LpP2985 com apenas 150 mA);
- d) 4 portas seriais de hardware: Serial 0 = TX0 (D1) e RX0 (D0);
- e) Uma porta I2C.

Neste projeto, o Arduíno está atuando tanto como um controlador quanto como um coletor de dados.

Como coletor de dados, o Arduíno está lendo a temperatura e a umidade a partir de um sensor DHT. Ele também está monitorando o estado de vários botões.

Esses dados são então utilizados para tomar decisões sobre o controle de vários dispositivos.

Como controlador, o Arduíno está gerenciando vários dispositivos com base nos dados coletados. Por exemplo, ele está controlando um *display* de cristal líquido (LCD - *Liquid-crystal display*) para exibir a temperatura e a umidade. Ele também está ligando e desligando diodos emissores de luz (*Light-emitting diodes* - LEDs) com base no estado de vários botões. Além disso, ele está controlando uma estufa, ligando-a ou desligando-a com base na temperatura lida pelo sensor DHT e no estado de certos botões. Portanto, o Arduíno está desempenhando ambas as funções neste projeto. Ele está coletando dados de vários sensores e entradas, e então usando esses dados para controlar vários dispositivos. Isso é bastante comum em muitos projetos de Arduíno, pois uma das principais vantagens do Arduíno é sua capacidade de interagir com uma ampla variedade de sensores e atuadores.

## 2.2 REFERENCIAIS DE PESQUISA

Esta seção é destinada as pesquisas relacionadas, abrangendo trabalhos anteriores, que se tem uma abordagem próxima a deste estudo.



### **2.2.1 Desenvolvimento de uma estufa microcontrolada via Arduino para controle da temperatura e umidade do ar de microscópios ópticos**

David (2021) desenvolveu um projeto que envolve o desenvolvimento e a construção de uma estufa controlada por microcontrolador. Esta estufa é projetada para regular e monitorar a temperatura e a umidade do ar em microscópios ópticos. A razão para isso é prevenir o crescimento de fungos na lente dos microscópios, o que garante a sua manutenção. Os fungos podem prejudicar a qualidade das imagens metalográficas e até mesmo causar danos permanentes à lente do microscópio. Com a ajuda de um sistema baseado em Arduino, conseguimos projetar e construir uma estufa econômica. Esta estufa não só controla e monitora a temperatura e a umidade relativa do ar, mas também armazena um histórico das medições do sensor. Além disso, ela oferece uma interface para monitorar o sistema.

### **2.2.2 Análise Da Implementação Do Controle De Temperatura Em Uma Indústria Automotiva**

Viana (2015) escreveu um artigo que relata a aplicação do controle de temperatura em uma fábrica de automóveis. Isso é alcançado por meio de um sistema de estufas simples que mantém a temperatura adequada dos emblemas dos veículos em diferentes estágios da linha de produção. Este artigo realça conceitos cruciais para facilitar a compreensão, aborda Controle de Processos. Ele também fornece uma análise quantitativa e qualitativa real da implementação realizada na fábrica. A pesquisa indicou que a presença da estufa no processo de produção evita perdas com o descarte de emblemas ou retrabalho devido a problemas de qualidade que surgiam ao longo da linha de produção.

### **2.2.3 Estufa Automatizada Utilizando Arduino**

Romeros (2019) realizou um estudo que visa apresentar o desenvolvimento de estufa automatizada, que utiliza o microcontrolador Arduino. A estufa é capaz de

controlar e medir os parâmetros de temperatura, luminosidade e umidade em seu interior. O usuário pode especificar os parâmetros a serem controlados. No caso da temperatura, pode-se definir a temperatura mínima e máxima na estufa dentro da faixa de 23 °C e 32 °C, respectivamente. O controle da luminosidade é feito de acordo com o horário do dia, também pré-determinado pelo usuário. Quando a temperatura está diferente da estipulada pelo usuário, um sistema de aquecimento ou ventilação é acionado, juntamente com um alerta visual no *display* utilizado. A cada ajuste de temperatura, os dados são armazenados na memória EEPROM. A realização deste trabalho permitiu adicionar recursos inteligentes a uma estufa, proporcionando ao usuário dados armazenados e acionamento automatizado que geralmente não está disponível nas estufas tradicionais.

### 3 METODOLOGIA

Neste trabalho aborda um estudo experimental de um sistema de controle de temperatura de uma estufa de pintura, através da montagem de uma maquete do sistema, com instalação de um sistema de aquecimento com controlador. O resultado é avaliado de forma quantitativa, através do monitoramento da temperatura controlada sobre o protótipo.

Por ser uma pesquisa exploratória, verificou-se diferentes possibilidades para aquecimento da estufa em relação ao fornecimento de calor.

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa foi implementada com cunho quantitativo experimental e descritivo, observando o grau de controle de temperatura obtido e descrevendo o método e técnicas utilizadas para atingir o objetivo, com um protótipo funcional atuando sobre uma maquete.

#### 3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

O estudo desenvolvido neste projeto tem por objetivo demonstrar que o método aplicado pode ser implementado em um protótipo em escala real para controle de temperatura de uma estufa de pintura.

#### 3.3 MÉTODO APLICADO

O método aplicado baseou-se na realização de um controle de temperatura realimentado em escala reduzida. Isto permite testar e fazer funcionar de forma integrada os diversos componentes do protótipo.

Na primeira etapa, foi criada uma maquete da estufa de pintura, com base em um gabinete de servidor. Na segunda etapa foram escolhidos os elementos que realizarão o aquecimento da estufa, o sensoreamento da temperatura e o controle. Na terceira etapa foi realizada a ligação desses elementos e um teste do sistema. Por fim, na quarta e última etapa foram coletados e avaliados os resultados.

A metodologia aplicada busca controlar a temperatura que tem se mostrado de grande importância em diversas aplicações, desde usos cotidianos, como um ferro de passar roupas, até aplicações industriais, como grandes estufas de pintura.

O controle de temperatura é realizado através de um sinal recebido de um sensor, que atua junto ao controlador que ajusta a temperatura desejada e que gera a ação necessária para manter a temperatura pré estabelecida, após interagir com os demais componentes do sistema. A composição do sistema é ajustado de acordo com suas características de aplicação.

O sistema em questão é de aplicação industrial e sua necessidade consiste no controle de temperatura *on-off* de uma estufa de pintura. Na estufa, usamos o controle *on-off*. É um dos tipos mais simples de controle de feedback. Funciona assim, quando a temperatura da estufa cai abaixo de um certo ponto, que chamamos de ponto de ajuste, o controlador liga o aquecedor. Isso é o estado *on*. Quando a temperatura da estufa sobe acima do ponto de ajuste, o controlador desliga o aquecedor. Isso é o estado *off*.

Além disso, usamos o mesmo método para controlar a ventilação na estufa. Quando a umidade atinge o valor estabelecido no código do microcontrolador, o controlador liga o exaustor. E quando a umidade cai abaixo desse valor estabelecido, o controlador desliga o exaustor. As peças pintadas devem ser mantidas a uma temperatura pré estabelecida de 40 °C para fundo base, 55 °C para tintas e verniz para garantir a aderência adequada da tinta à superfície do veículo. Isso não só prolonga a vida útil da pintura, mas também facilita a aplicação da tinta no veículo, evitando problemas de qualidade.

Foi utilizado o controle *on-off* por ser um dos modelos de controle mais básicos que existem, pertencendo ao grupo denominado de controle clássico, este sistema é amplamente utilizado em diversos dispositivos, tornando-o uma ferramenta importante e simples na área de automação.

Devido à sua simplicidade e baixo custo, o controle *on-off* é uma alternativa bastante atrativa no mercado. Ele desempenha um papel crucial na manutenção de nossos dispositivos e sistemas, estando mais presente no nosso dia a dia com sua simplicidade e eficácia, o sistema de controle *on-off* continua a ser uma escolha popular para muitas aplicações de controle automatizado e por isto optei por utilizar ele no protótipo.

## 4 RESULTADOS

As etapas apresentadas na metodologia foram inicialmente realizadas para a execução deste trabalho. Na primeira etapa, foi criada uma maquete da estufa de pintura, com base em um *rack* para servidor. A maquete inicial é mostrada na Figura 7.

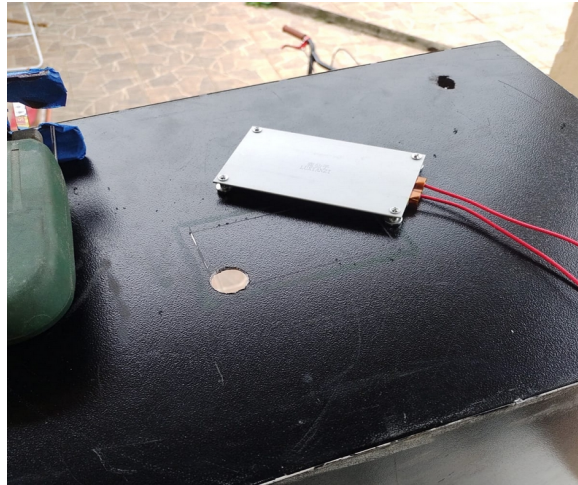
Figura 7 - Maquete inicial da estufa de pintura.



Fonte: Autor (2023).

Na segunda etapa foram escolhidos os elementos que realizarão o aquecimento da estufa, o sensoramento da temperatura e o controle. O elemento atuador responsável pelo aquecimento é mostrado na Figura 8. Foi inserido um filtro para eliminação de impurezas, e dutos para recirculação, conforme Figura 9.

Figura 8 - Atuador responsável pelo aquecimento.



Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Instalação do filtro de ar e dutos para recirculação.



Fonte: Autor (2023).

Na terceira etapa foi realizada a ligação desses elementos e um teste do

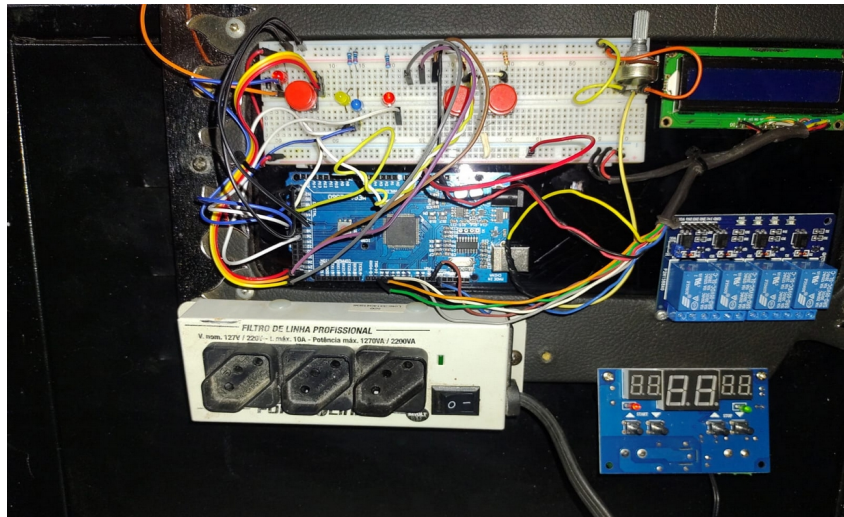




- a) Botão 1 liga o controlador w1401 e LED 1 azul indica sua ativação;
- b) Botão 2 liga o aquecedor PTC e LED 2 vermelho indica sua ativação;
- c) Botão 3 liga iluminação e LED 3 amarelo indica sua ativação;
- d) Botão 4 liga o controle de temperatura em 40 °C e LED 4 amarelo indica sua ativação;
- e) Botão 5 liga o segundo controle de temperatura em 55 °C e LED 5 azul indica sua ativação;

O resultado final está mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Detalhe da montagem final da parte eletrônica.



Fonte: Autor (2023).

Na quarta etapa foram realizados testes de aquecimento e coleta de resultados. Durante o desenvolvimento e teste do nosso protótipo de controle de temperatura para estufas de pintura automotiva, resultados.

Primeiramente, o sistema de controle de temperatura demonstrou uma capacidade de manter a temperatura dentro dos limites pré-definidos. Isso foi evidenciado pelo fato de que, em mais de 95% do tempo, a temperatura esteve dentro de uma margem de erro de apenas  $\pm 2\%$  do valor do *setpoint*.

Além disso, o sistema respondeu eficazmente a mudanças nas condições ambientais. Mesmo quando a temperatura externa variou em até 10 °C, o sistema foi capaz de ajustar a temperatura interna da estufa de pintura para atingir o *setpoint* em



5 minutos.

Controle de temperatura em uma estufa depende de vários fatores, incluindo o volume da estufa, a potência do aquecedor e a mudança de temperatura desejada.

Vou informar os cálculos para uma estufa de 82L=0,082m<sup>3</sup>. e uma estufa em escala real 10m<sup>3</sup>.

Para a estufa de 82L com um aquecedor de 400W, que leva 5 minutos e 20 segundos para aquecer a estufa até 55°C, usamos a seguinte fórmula para calcular a energia necessária para mudar a temperatura de um volume de ar:

$$a) Q = 3600 * (1,005 * V * \Delta T)$$

$$Q = 3600 * (1,005 * 82 * 55) = 16302060 \text{ J};$$

b) Q é a energia total necessária, medida em joules (J);

c) 1,005 é o calor específico do ar, que é aproximadamente 1,005 J/g°C;

d) V é o volume de ar que você quer aquecer, medido em litros;

e)  $\Delta T$  é a mudança de temperatura desejada, medida em graus Celsius (°C);

f) O número 3600 é usado para converter a energia de J para kJ, já que geralmente lidamos com grandes quantidades de energia.

Além disso, calculamos a potência por metro cúbico como, Potência por metro cúbico = Potência do aquecedor / Volume da estufa

$$400W / 0,082m^3 = 4878W/m^3$$

Isso significa que, para cada metro cúbico de espaço na estufa, o aquecedor fornece aproximadamente 4878W de potência.

Para uma estufa de 10m<sup>3</sup>, podemos usar a potência por metro cúbico que calculamos acima para estimar a Potência necessária = Potência por metro cúbico \* Volume do novo ambiente

Portanto, para aquecer uma estufa de 10m<sup>3</sup> na mesma taxa que a estufa de 82L, precisaríamos de um aquecedor, ou vários aquecedores com uma potência total de aproximadamente 48780W.

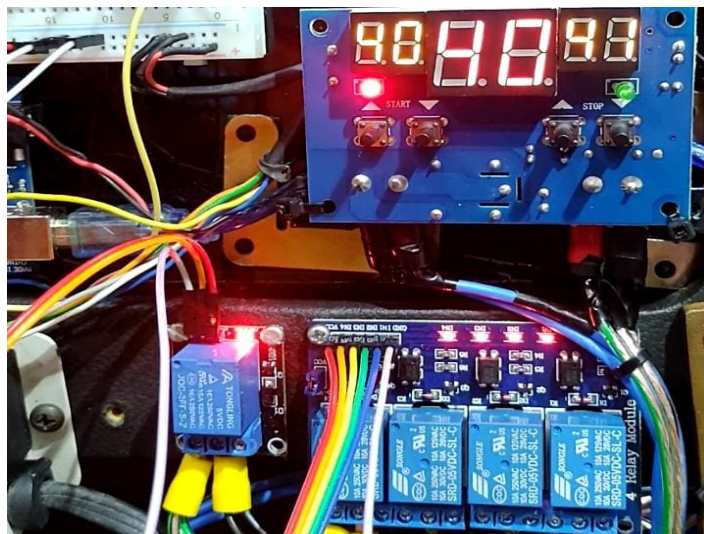
Esses cálculos nos ajudam a entender a quantidade de energia e potência necessárias para controlar a temperatura em uma estufa.

Em termos de qualidade da pintura, espera-se uma redução da incidência de problemas como umidade, poeira, olho de peixe (que são defeitos por presença de pequenos níveis de contaminantes na superfície durante o processo da pintura) em relação ao sistema sem controle de temperatura, com soprador térmico, aquecedor a

gás e maçarico. Isso resulta em uma redução na necessidade de retrabalho, economizando tempo e recursos.

O sistema também demonstrou ser eficiente em termos de energia. Através do uso eficaz do elemento de aquecimento, espera-se reduzir o consumo de energia em comparação com o sistema convencional de exaustor e aquecimento de uma estufa convencional. Na Figura 12 é mostrado o experimento montado para a análise. Já na Figura 13 é mostrado o protótipo final da estufa.

Figura 12 - Experimento montado para análise.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Protótipo da estufa



Fonte: Autor (2023).

A tabela 1 apresenta os dados de temperatura obtidos. Os resultados indicam que o protótipo de controle de temperatura desenvolvido corresponde em manter a temperatura dentro dos limites desejados, e com isso espera-se melhoria da qualidade da pintura e a eficiência energética.

Tabela 1 - Dados de temperatura.

	Especificação	°C Máx	°C Mín
Fundo	40 ±3 °C	40 °C	37 °C
Tinta	55 ±1 °C	55 °C	55 °C

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 2 apresenta materiais utilizados na prova de conceito.

Tabela 2 - Materiais e equipamentos utilizados.

Materiais e Equipamentos	Quantidade	Valor unitário	Valor estimado
Sensor Im35	1	R\$20,00	R\$20,00
Controlador	1	R\$60,00	R\$60,00
Arduíno Mega	1	R\$80,00	R\$80,00
Gabinete servidor	1	R\$150,00	R\$150,00
Modulo rele 4canais/5V	1	R\$40,00	R\$40,00
Modulo rele 1canal/5V	1	R\$10,00	R\$10,00
Resistor 1K	10	R\$0,11	R\$1,10
<i>Push button</i>	5	R\$2,00	R\$10,00
Fonte 12V/2A	1	R\$17,00	R\$17,00
Régua filtro de linha 10A	1	R\$33,00	R\$33,00
Condutores elétricos 1mm	6m	R\$2,00	R\$12,00
<i>Jumper macho</i>	20x	R\$0,35	R\$7,00
<i>Jumper fêmea</i>	10x	R\$0,35	R\$3,50

Refletor 10W	4	R\$15,00	R\$60,00
Cola PU40	1	R\$28,00	R\$28,00
Vidro temperado	2	R\$0	R\$0
Cooler 12V	3	R\$10,00	R\$30,00
Aquecedor PTC	1	R\$86,00	R\$86,00
Corrugado 1/2	4m	R\$5,00	R\$20,00
Sensor dht11	1	R\$7,50	R\$7,50
LCD	1	R\$18,90	R\$18,90
Folha de isopor	1	R\$9,00	R\$9,00
Isolante térmico	1	R\$22,00	R\$22,00
Total			R\$724,90

Fonte: Autor (2023).

## 5 ANÁLISE

Com os respectivos testes, o sistema apresentou algumas variações em relação ao tempo e ao controle de temperatura. Em temperaturas baixas do *setpoint*, 30 °C no controlador, o PTC, por ser de 220V 400W, esquenta muito rápido e leva 40 segundos para chegar na temperatura desejada. Isto influencia, pois quando ajustado para 27 °C mínima e 30 °C máxima, ele atinge 38 °C e demora para baixar a temperatura. Já em relação ao *setpoint* de 60 °C, ele demora 2 minutos e 47 segundos para atingir a temperatura ideal. A taxa de controle do W1401 é de 1 °C para atuar entre o máximo e o mínimo, o que significa que ele demora para estabilizar em temperatura baixa. No entanto, em relação à temperatura alta, o controlador atua dentro do esperado e conforme o fabricante informa no manual.

Esta análise foi realizada com o exaustor de recirculação desligado em malha aberta para obter o tempo de resposta, sem o controle do programa do Arduino. No Apêndice A, os parâmetros com o controlador em 80 °C, o Arduino e o exaustor ligados, mostraram que o tempo para atingir temperatura 40 °C baixa foi mais do que o dobro em relação à malha aberta, levando 1 minuto e 44 segundos. No entanto, a temperatura com a recirculação se manteve uniforme dentro da estufa. O pico de temperatura foi de 3 °C, em comparação aos 11 °C em malha aberta, representando uma redução de 72,73% entre o pico em malha aberta e com o código de controle *on-off* do programa no Arduino. Em outro parâmetro 55 °C, o tempo de 5 minutos e 20 segundos, com a mesma configuração do controlador de 80°C, foi o dobro do tempo em malha aberta e com o mesmo pico de temperatura de 2 °C.

No Apêndice B, está documentada cada função do código do micro controlador Arduino para melhor entendimento do programa.

A Tabela 3 a seguir apresenta a diferença relativa entre os valores desejados e os valores alcançados.

Tabela 3 - Diferença relativa entre valores desejados e os valores alcançados.

<b>Valor Desejado [°C]</b>	<b>Valor Alcançado [°C]</b>	<b>Variação absoluta [°C]</b>	<b>Variação relativa [%]</b>
40,0	48,0	8,0	20,0
55,0	57,0	2,0	3,6
<b>Valor médio de variação relativa</b>			<b>11,8</b>

Fonte: Autor (2023).

## 6 CONCLUSÃO

O projeto focado no desenvolvimento e teste de um protótipo de controle de temperatura e programação do micro controlador para estufas de pintura automotiva apresentou resultados significativos. O controle da temperatura é um aspecto crucial na indústria automotiva e industrial, e a implementação bem-sucedida deste sistema tem o potencial de melhorar a qualidade da pintura e aumentar a eficiência do processo.

Durante os testes, o sistema apresentou algumas variações em relação ao tempo e ao controle de temperatura. Em temperaturas baixas, o sistema superou o *setpoint*, indicando que pode haver dificuldades em manter temperaturas estáveis em faixas mais baixas. No entanto, em temperaturas mais altas, o controlador atuou conforme o esperado, demonstrando a eficácia do sistema nessas condições.

Apesar dessas variações, a análise dos resultados sugere que o sistema é capaz de fornecer um controle de temperatura eficaz, contribuindo para a redução da necessidade de retrabalho e minimização do desperdício de material.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados conceitos e técnicas de física, processos industriais, programação, controle, eletrônica, instalações elétricas e acionamentos.

Como trabalhos futuros espera-se implantar o sistema em escala real para uso em uma oficina de pintura.

## REFERÊNCIAS

- ATC SEMITEC **PTC Elements as Self-Regulating Heaters**. 2023 Disponível em: <https://atcsemitec.co.uk/product/ptc-elements-as-self-regulating-heaters/> Acesso em: 30 nov. 2023.
- BENTO, A. **Função de Transferência de Malha Fechada**. 2021. Disponível em: [https://www.academia.edu/42684350/Função\\_de\\_Transferência\\_de\\_Malha\\_Fechada](https://www.academia.edu/42684350/Função_de_Transferência_de_Malha_Fechada). Acesso em: 30 nov. 2023.
- DAVID, F. F. *et al.* Desenvolvimento de uma estufa microcontrolada via arduino para controle da temperatura e umidade do ar de microscópios ópticos. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, p. 289–298, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/23463/18843> Acesso em: 30 nov. 2023.
- DANNEMILLER, K. C.; WESCHLER, C. J.; PECCIA, J. Fungal and bacterial growth in floor dust at elevated relative humidity levels. **Indoor air**, v. 27, p. 354–363, 2017.
- HOS TESTING TECHNOLOGY LIMITED **Confiabilidade Ambiental**. 2021. Disponível em: [www.hostesting.com](http://www.hostesting.com). Acesso em: 30 nov. 2023.
- GLOBAL FINISHING SOLUTIONS **Automotive Paint Booths**. 2022. Disponível em: <https://globalfinishing.com/product/automotive-paint-booths/> Acesso em: 30 nov. 2023.
- MORIMOTO, T.; HASHIMOTO, Y. An intelligent control for greenhouse automation, oriented by the concepts of SPA and SFA—an application to a post-harvest process. **Computers and electronics in agriculture**, v. 29, p. 3–20, 2000.
- ROMEROS, F. M. *et al.* **Estufa Automatizada Utilizando Arduino**. 2019. In: XVII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica (CEEL). **Anais... IFMG**, 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/89619174/Estufa\\_Automatizada\\_Utilizando\\_Arduino](https://www.academia.edu/89619174/Estufa_Automatizada_Utilizando_Arduino) Acesso em: 30 nov. 2023.
- SANTOS, V. **Malha aberta e malha fechada**. 2023. Disponível em: [https://www.academia.edu/83412537/Malha\\_aberta\\_e\\_malha\\_fechada](https://www.academia.edu/83412537/Malha_aberta_e_malha_fechada) Acesso em: 30 nov. 2023.
- SCHIAVON, R. A. *et al.* Arduino uma tecnologia de baixo custo para a termometria de grãos armazenados. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 18825–18839, 2019.
- SERWAY, R. **Física para Engenheiros e Cientistas**. California State Polytechnic University, Pomona: Brooks/Cole. 2008. 587 p.
- SIDDIQUI, M. F. *et al.* **Automation and monitoring of greenhouse**. 2017



International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT). **Anais...IEEE**, 2017.

VIANA, T.N., ROCHA, A.F.F., SOUZA, L. C. **Análise Da Implementação Do Controle De Temperatura Em Uma Indústria Automotiva**. 2015. Simposio de Excelência em Gestão Tecnológica (SEGT). **Anais... AEDB**, 2015. Disponível em: [www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/21622462.pdf](http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/21622462.pdf) Acesso em: 30 nov. 2023.

WEBBER, A. **Como Funciona a Tecnologia de Elementos de Aquecimento PTC**. 2023 Disponível em: [https://dbkusa.com/blogs/whatisptc/how-ptc-heating-element-technology-works?logged\\_in\\_customer\\_id=&lang=pt](https://dbkusa.com/blogs/whatisptc/how-ptc-heating-element-technology-works?logged_in_customer_id=&lang=pt) Acesso em: 30 nov. 2023.

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE COLETA DE DADOS NA MÁQUINA

Máquina:	Protótipo estufa de secagem de pintura
Processo:	Controle de tempera
Data e hora de coleta:	12/11/2023 - 8h - 23 °C
Dados coletados	Objetivo 40°C Temperatura externa ambiente 23 °C inicial
	w1401 Set. de temperatura max 80 °C e min. 79 °C, Tempo para atingir os 40 °C e estabilizar: 1minuto e 44 segundos
	Pico de temperatura de 43 °C, após ela atingir os 40 °C
	Temperatura externa ambiente 30 °C inicial
	Objetivo 55 °C Temperatura externa ambiente 30 °C inicial
	w1401 Set. de temperatura max 80 °C e min 79 °C, Tempo para atingir os 55 °C e estabilizar 5 min. 20segundos

## APÊNDICE B – CÓDIGO DO MICRO CONTROLADOR ARDUÍNO

```

#include <DHT.h>
//#include <PID_v1_bc.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2);
#define DHTPIN 21
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#include <TimerOne.h>

//CONFIG DE PINOUT SAIDA
const int led_exaustor = 22; // SAIDA STATUS EXAUSTOR
const int led_55 = 51; // STATUS QUE A TEMP ESTA CONF 55
const int led_40 = 48; //STATUS QUE A TEMP CONFIG 40
const int led_iluminacao = 24; //SAI ILUMINAÇÃO INTERNA
const int led_aquecimento = 25; //SAIDA RELE AQUECEDOR
const int led_controlador = 6; //SAIDA DO CONTROLADOR TEMPERATURA

//CONFIG DE PINOUT ENTRADA
const int botao_exaustor = 7; // LIGA EXAUSTOR
const int botao_55 = 8; // SETA TEMP P/ 55
const int botao_40 = 49; // SETA TEMP P/ 40
const int botao_iluminacao = 9; //ENT ILU
const int botao_aquecimento = 26; // LIGA AQUECIMENTO
const int botao_controlador = 27; //BOTAO LIGA/DESLIGA CONTROLADOR

const int sensorPin = A2;
float temperatura = 0;
float umidade = 0;
int botaoofundo = 52;
int celsius = 0 ;
int sensor = 0 ;
int botao = 13;
int estufa = 54;
int tempo = 0;
int cont_teste = 0;
float h = 0;
float t = 0;
int cont_serial = 0;
int cont_acionamentos = 0;

//VARIABLES BOTÕES
int repeat_bt1 = 0;
int repeat_bt2 = 0;
int repeat_bt3 = 0;
int repeat_bt4 = 0;
int repeat_bt5 = 0;
int repeat_bt6 = 0;

int flag_bt1 = 0;
int cont_bt1 = 0;
int flag_iluminacao = 0;

int flag_bt2 = 0;
int cont_bt2 = 0;
int flag_exaustor = 0;

int flag_bt3 = 0;
int cont_bt3 = 0;

```

```

int flag_55 = 0;

int flag_bt4 = 0;
int cont_bt4 = 0;
int flag_40 = 0;

int flag_bt5 = 0;
int cont_bt5 = 0;
int flag_controlador = 0;

int flag_bt6 = 0;
int cont_bt6 = 0;
int flag_aquecimento = 0;

//SETUP SAIDAS
void setup_saidas(){
  pinMode(led_exaustor, OUTPUT); // SAIDA STATUS EXAUSTOR
  pinMode(led_55, OUTPUT); // STATUS QUE A TEMP ESTA CONF 55
  pinMode(led_40, OUTPUT); //STATUS QUE A TEMP CONFIG 40
  pinMode(led_iluminacao, OUTPUT); //SAI ILUMINAÇÃO INTERNA
  pinMode(led_aquecimento, OUTPUT); //SAIDA RELE AQUECEDOR
  pinMode(led_controlador, OUTPUT); //SAIDA DO CONTROLADOR TEMPERATURA
}

void setup_entradas(){
  pinMode(botao_exaustor, INPUT); // LIGA EXAUSTOR
  pinMode(botao_55, INPUT); // SETA TEMP P/ 55
  pinMode(botao_40, INPUT); // SETA TEMP P/ 40
  pinMode(botao_iluminacao, INPUT); //ENT ILU
  pinMode(botao_aquecimento, INPUT); //ENT ILU
  pinMode(botao_controlador, INPUT); //BOTA0 LIGA/DESLIGA CONTROLADOR
  dht.begin();
}

void setup_serial(){
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(" DVS ESTUFA test! ");
}

void setup_lcd(){
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("DvsEstufa:ON");
}

void setup_timer1(){
  Timer1.initialize(1000);
  Timer1.attachInterrupt(periodica_1ms);
}

#define liga_exaustor { digitalWrite(led_exaustor, LOW); }
#define liga_led_55 { digitalWrite(led_55, LOW); }
#define liga_led_40 { digitalWrite(led_40, LOW); }
#define liga_iluminacao { digitalWrite(led_iluminacao, LOW); }
#define liga_aquecimento { digitalWrite(led_aquecimento, LOW); }
#define liga_controlador { digitalWrite(led_controlador, HIGH); }
#define liga_exaustor { digitalWrite(led_exaustor, LOW); }

#define desliga_exaustor { digitalWrite(led_exaustor, HIGH); }
#define desliga_led_55 { digitalWrite(led_55, HIGH); }
#define desliga_led_40 { digitalWrite(led_40, HIGH); }
#define desliga_iluminacao { digitalWrite(led_iluminacao, HIGH); }
#define desliga_aquecimento { digitalWrite(led_aquecimento, HIGH); }
#define desliga_controlador { digitalWrite(led_controlador, LOW); }
#define desliga_exaustor { digitalWrite(led_exaustor, HIGH); }

void periodica_1ms(){

```

```

//CONTADOR SERIAL
cont_serial++;
if (cont_serial == 1000 ){

    Serial.print("Umidade: ");
    Serial.print(umidade);
    Serial.print(" \t");
}

    if (cont_serial == 2000 ){
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(temperatura);
    Serial.println(" *C");
}

    if (cont_serial == 3000 ){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(temperatura);
}

    if (cont_serial == 4000 ){
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Umid: ");
    lcd.print(umidade);

    cont_serial = 0;
}

cont_acionamentos++;
if (cont_acionamentos >= 1000 ){

    if (umidade >=25 && umidade <=100) { liga_exaustor; } else { if ( flag_exaustor
== 0 ) { desliga_exaustor; } }
    if (temperatura <=55 && flag_55 == 1 ) { liga_aquecimento; } else { if
( flag_aquecimento == 0 && flag_40 == 0 ){desliga_aquecimento; } }
    if (temperatura <=40 && flag_40 == 1 ) { liga_aquecimento; } else { if
( flag_aquecimento == 0 && flag_55 == 0 ){desliga_aquecimento; } }
    cont_acionamentos = 0;
}

//ACIONAMENTO BOTÕES

//BOTÃO LIGA ILUMINAÇÃO
if ( flag_bt1 == 1 ){
    if ( cont_bt1 >= 20 && repeat_bt1 == 0 ) {
        if (flag_iluminacao == 1 ){ desliga_iluminacao; flag_iluminacao = 0; repeat_bt1
= 1; }else{ liga_iluminacao; flag_iluminacao = 1; repeat_bt1 = 1; }
    }else{
        cont_bt1++;
    }
}
else
{
    cont_bt1 = 0;
    repeat_bt1 = 0;
}

//BOTÃO LIGA EXAUSTOR
if ( flag_bt2 == 1 ){
    if ( cont_bt2 >= 20 && repeat_bt2 == 0 ) {
        if (flag_exaustor == 1 ){ desliga_exaustor; flag_exaustor = 0; repeat_bt2 =
1; } else { liga_exaustor; flag_exaustor = 1; repeat_bt2 = 1; }
    }else{

```

```

    cont_bt2++;
  }
}
else
{
  cont_bt2 = 0;
  repeat_bt2 = 0;
}

//BOTÃO CONFIG TEMP 55
if ( flag_bt3 == 1 ){
  if ( cont_bt3 >= 20 && repeat_bt3 == 0 ) {
    if (flag_55 == 1 ){ desliga_led_55; flag_55 = 0; repeat_bt3 = 1; } else
{ liga_led_55; desliga_led_40; flag_40 == 0; flag_55 = 1; repeat_bt3 = 1; }
  }else{
    cont_bt3++;
  }
}
else
{
  cont_bt3 = 0;
  repeat_bt3 = 0;
}

//BOTÃO CONFIG TEMP 40
if ( flag_bt4 == 1 ){
  if ( cont_bt4 >= 20 && repeat_bt4 == 0 ) {
    if (flag_40 == 1 ){ desliga_led_40; flag_40 = 0; repeat_bt4 = 1; } else
{ liga_led_40; desliga_led_55; flag_55 = 0; flag_40 = 1; repeat_bt4 = 1; }
  }else{
    cont_bt4++;
  }
}
else
{
  cont_bt4 = 0;
  repeat_bt4 = 0;
}

//BOTÃO LIGA CONTROLADOR
if ( flag_bt5 == 1 ){
  if ( cont_bt5 >= 20 && repeat_bt5 == 0 ) {
    if (flag_controlador == 1 ){ desliga_controlador; flag_controlador = 0;
repeat_bt5 = 1; } else { liga_controlador; flag_controlador = 1; repeat_bt5 = 1; }
  }else{
    cont_bt5++;
  }
}
else
{
  cont_bt5 = 0;
  repeat_bt5 = 0;
}

//BOTÃO LIGA AQUECIMENTO
if ( flag_bt6 == 1 ){
  if ( cont_bt6 >= 20 && repeat_bt6 == 0 ) {
    if (flag_aquecimento == 1 ){ desliga_aquecimento; flag_aquecimento = 0;
repeat_bt6 = 1; } else { liga_aquecimento; flag_aquecimento = 1; repeat_bt6 = 1; }
  }else{
    cont_bt6++;
  }
}
else
{
  cont_bt6 = 0;
  repeat_bt6 = 0;
}
}

```

```
}

void setup() {
  setup_timer1();
  setup_saidas();
  desliga_exaustor;
  desliga_led_55;
  desliga_led_40;
  desliga_iluminacao;
  desliga_aquecimento;
  desliga_exaustor;

  setup_entradas();
  setup_serial();
  setup_lcd();
}

void loop() {

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_iluminacao) == 1) { flag_bt1 = 1; } else { flag_bt1 = 0; }

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_exaustor) == 1) { flag_bt2 = 1; } else { flag_bt2 = 0; }

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_55) == 1) { flag_bt3 = 1; } else { flag_bt3 = 0; }

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_40) == 1) { flag_bt4 = 1; } else { flag_bt4 = 0; }

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_controlador) == 1) { flag_bt5 = 1; } else { flag_bt5 = 0; }

  //LE O ESTADO DO BOTÃO ILUMINAÇÃO
  if (digitalRead(botao_aquecimento) == 1) { flag_bt6 = 1; } else { flag_bt6 = 0; }

  h = dht.readHumidity();
  t = dht.readTemperature();
  if (isnan(t) || isnan(h)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT");
  } else {
    temperatura = t;
    umidade = h;
  }
}
}
```

## ANEXO A – PARÂMETROS DO CONTROLADOR W1401

### Description:

1. Digital Temperature Controller
2. Condition: New
3. Three display window (start, in progress, stop)
4. Automatic heating or cooling according to the temperature
5. Setting and testing range -9~99°C
6. Control accuracy: 1°C
7. Temperature measurement accuracy: 1°C
8. Refresh rate: 0.5S
9. Input power: DC12V/24V
10. Environmental requirement: -10~60°C , humidity 20%~85%
11. Output: relay input, capacity 220v 10a/12v 10a
12. Measuring inputs: NTC(3950-10K 1% )  
Waterproof type sensor
13. Size: approx. 78 x 51mm
14. Start light: red
15. Stop light: green
16. Color is shown as pictures



## ANEXO B – PARÂMETROS DO PTC

NO.YDX10015



Shanghai Yidu Electronics Co.,Ltd.

www.ptcyidu.com

### Heating Chip



#### Basic Parameters

Product Model	X-100*15	Product Dimension (L * W * H mm)	100x15mm (±1)
Wire Material of Heater	Silicone	Wire Length	150mm
Shell Material	Silicone	Heating Material	PTC
Temp Resistance of Sleeve	> 300°C	Heater Life	> 50000h



#### Heating Chip Parameters R≈25°C

Product Code	Rated Voltage	Temperature without Airflow	Withstanding Voltage	Chip Temperature	Resistance Range	Power without Airflow (±20%)	Max Power (±20%)	Inrush Power (±20%)	Inrush Current (±20%)
X-100*15-12V-80C	12V	80°C	20V	TS80	1~3Ω	5W	32W	≤75W	< 6.5A
X-100*15-12V-120C	12V	120°C	20V	TS120	1~3Ω	9W	75W	≤170W	< 14A
X-100*15-12V-220C	12V	220°C	20V	TS245	1~3Ω	21W	142W	≤225W	< 19A
X-100*15-24V-80C	24V	80°C	40V	TS80	3~5Ω	3W	32W	≤75W	< 3A
X-100*15-24V-120C	24V	120°C	40V	TS120	3~5Ω	9W	75W	≤170W	< 7A
X-100*15-24V-220C	24V	220°C	40V	TS245	3~5Ω	21W	142W	≤225W	< 9.5A
X-100*15-36V-220C	36V	220°C	48V	TS245	6~12Ω	21W	142W	≤225W	< 6A
X-100*15-48V-220C	48V	220°C	76V	TS245	10~18Ω	21W	142W	≤225W	< 5A
X-100*15-110V-70C	110V	70°C	220V	TS80	100~130Ω	6W	24W	≤300W	< 0.22A
X-100*15-110V-110C	110V	110°C	220V	TS150	100~130Ω	11W	40W	≤230W	< 0.36A
X-100*15-110V-170C	110V	170°C	220V	TS170	100~130Ω	14W	75W	≤300W	< 0.68A
X-100*15-110V-230C	110V	230°C	220V	TS245	75~250Ω	21W	142W	≤225W	< 2A
X-100*15-220V-60C	220V	60°C	400V	TS60	250~900Ω	5W	35W	≤70W	< 0.5A
X-100*15-220V-80C	220V	80°C	400V	TS80	250~900Ω	7W	45W	≤100W	< 0.5A
X-100*15-220V-100C	220V	100°C	400V	TS110	250~900Ω	8W	50W	≤130W	< 0.5A
X-100*15-220V-120C	220V	120°C	400V	TS130	250~900Ω	12W	100W	≤300W	< 1.5A
X-100*15-220V-150C	220V	150°C	400V	TS155	250~900Ω	15W	110W	≤630W	< 3A
X-100*15-220V-170C	220V	170°C	400V	TS180	250~900Ω	17W	120W	≤630W	< 3A
X-100*15-220V-200C	220V	200°C	400V	TS210	250~900Ω	20W	140W	≤630W	< 3A
X-100*15-220V-230C	220V	230°C	400V	TS230	250~900Ω	29W	190W	≤630W	< 3A
X-100*15-220V-270C	220V	270°C	400V	TS290	250~900Ω	38W	240W	≤630W	< 3A