

CONTROLE DE TEMPERATURA EM PERFIL PARA SOLDAGEM DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

TEMPERATURE PROFILE CONTROL FOR WELDING ELECTRONIC COMPONENTS

Cesar Nogueira de Sousa¹

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de aquecimento capaz de aquecer e controlar de forma específica uma superfície lisa e plana com o objetivo de soldar componentes eletrônicos do tipo SMD em placas de circuito impresso para assim reduzir tamanho dos protótipos, e por consequência, o custo final do projeto. Com o processo de soldagem bem ajustado e controlado, é possível soldar componentes todos de uma só vez e em várias placas ao mesmo tempo, economizando tempo em soldagens manuais uma vez que normalmente os componentes em SMD são muito pequenos, o que traz complexidades para o trabalho, podendo atender até mesmo pequenas produções de circuitos eletrônicos.

Palavras-chave: Controle de Temperatura; Soldas; Protótipos.

ABSTRACT

This work presents the development of a heating system capable of specifically heating and controlling a smooth and flat surface with the aim of soldering electronic components of the SMD type onto printed circuit boards in order to reduce the size of the prototypes, and consequently the final cost of the project. With a well-adjusted and controlled welding process, it is possible to weld components all at once and on several boards at the same time, saving time on manual welding since normally SMD components are very small, complicating the work, and can even serve small production of electronic circuits.

Keywords: Temperature Control; Welding; Prototypes.

1 INTRODUÇÃO

O projeto propõe desenvolver um sistema de aquecimento a fim de efetuar soldas de componentes muito pequenos conhecidos com SMD (Surface Mount Device), que são dispositivos montados em superfície em placas de circuitos impressos PCB (Printed Circuit Board) com o objetivo de reduzir o tamanho, tempo de produção e por consequência o custo do projeto final.

1.1 Problema de pesquisa

O processo de soldagem pode ser efetuado com ferramentas convencionais como o

¹ Pós-graduando em Controle e Automação, Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”.
Cesar.nds57@gmail.com

ferro de soldar, porém consome tempo que pode ser otimizado com outras tarefas e pode resultar em má qualidade da solda, pois é capaz de gerar pontos de solda fria, não efetuando corretamente uma junção entre as partes metálicas do componente e a placa.

1.2 Objetivo(s)

O dispositivo desenvolvido aqui apresentado tem como objetivo se tornar uma alternativa para evitar todos estes fatores. Para isso se fez necessário o desenvolvimento de um circuito de comando elétrico para controlar e proteger o usuário e o equipamento em questão, uma superfície de aquecimento em tamanho ideal e por fim programar um algoritmo capaz de seguir perfil de temperatura ideal.

1.3 Justificativa

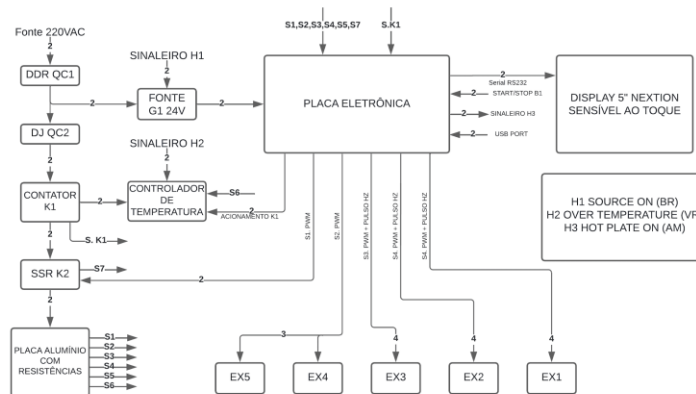
Quanto menor as dimensões de um protótipo que tenha montagem SMD, menor será o investimento do seu desenvolvimento, e com o desenvolvimento proposto os iniciantes podem ter maior confiabilidade no seu projeto e economia, o que tornaria o seu trabalho mais viável e otimizaria a oportunidade de concluir o que se propõe a desenvolver, facilitando sua validação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Considera-se uma solda de boa qualidade aquela que se espalha pela placa de cobre sem falhar. Quando a temperatura não é alta o suficiente para derreter a solda por completo, ou não age pelo tempo mínimo recomendado, ela fica irregular, criando o que é chamado de solda fria, assim, apresenta ter maus contatos e não conecta o componente adequadamente. O resultado são defeitos intermitentes e problemas com seu funcionamento (BRAGA, 2018).

Para a proposta do projeto, desenvolveu-se um comando elétrico, responsável pela distribuição de sua energia elétrica por um ou mais circuitos, destinado a mudar sua manobra para condutores elétricos interligados a fim de distribuir energia corretamente conforme os comandos de acionamento ou desligamento. Para seu desenvolvimento, projetou-se um esquema de comando elétrico conforme Figura 1.

Figura 1 – Esquema elétrico simplificado



Fonte: (Próprio autor, 2024).

O livro “Comandos Elétricos Componentes Discretos, Elementos de Manobra e Aplicações”, de FILHO e DIAS (2014), colabora a explicar como dimensionar os

principais componentes elétricos e quais são. Através dele, entende-se quais são os principais painéis elétricos, quais tipos existem e o livro apresenta diagramas elétricos úteis para se compreender projetos como este.

O esquema elétrico contempla um controlador de temperatura como redundância de segurança térmica caso o sistema porventura saia do controle. Segundo o “Manual de Referência Técnica de Temperatura” (ÔMEGA, 2015), ele é utilizado para administrar a temperatura e evitar danos a equipamentos, que recebe a entrada de um sensor que desarma o controle de potência.

Quando o controle ou a carga não estão eletricamente conectados, estes considerados as extremidades de entrada e saída, um componente denominado relé impede danos causados por surtos de energia, por ser responsável pelo isolamento e proteção de dispositivos usados (ÔMEGA, 2015), conforme apresentado na Figura 3 (destaque em amarelo).

O circuito contém um contator de potência, que atua como o relé principal. Ele é responsável por energizar o circuito de aquecimento. Segundo o Manual de Referência Técnica de Temperatura, os contadores mecânicos são relés externos. Podem ser utilizados quando é necessário um consumo de corrente maior (ÔMEGA, 2015).

O contator somente funcionará se o sistema estiver abaixo da temperatura crítica, e sob comando do microcontrolador.

Diferentemente dos contadores, que liberam total capacidade da fonte quando ligados, com o relé de estado sólido, conhecido como SSR (*Solid State Relay* ou Relé de Estado Sólido), há de obter o controle da quantidade de potência a ser enviado para a carga em questão. Trata-se de um acoplador óptico com LED receptor (que pode ser foto-diodo, foto-transistor, foto-triac ou outro dispositivo sensível à luz) e emissor (BRAGA, 2017, p.12).

Segundo BRAGA C. (2017), “os dispositivos eletromecânicos encontrados nos equipamentos eletrônicos estão cada vez mais sendo substituídos por equivalentes de estado sólido”. Os SSR são muito menores e mais leves que os relés eletromecânicos. Sem partes móveis, sua confiabilidade e durabilidade são maiores, pois não desgasta, e não tem necessidade de recursos adicionais para eliminação de repique de contatos (BRAGA C., 2018), conforme exposto na Figura 3 (destacado em laranja).

No projeto foi utilizada uma HMI (*Human Machine Interface*, ou IHM Interface Homem Máquina), interface homem-máquina. Trata-se de uma tela de LCD de 5 polegadas. Segundo Cavadas (2019), o desenvolvimento humano faz com que se busque por soluções estratégicas e facilitadoras para o cotidiano, e nesse contexto surgem as HMI, que fazem a conexão e viabilizam comunicação de humanos com máquinas. Seu uso é importante para que um ser humano tenha meio de comunicação com o sistema, por exibir dados em tempo real e permitir que o usuário controle o equipamento através de uma interface gráfica (COPA-DATA, 2018).

Neste sistema, a interface supervisiona as variáveis de temperatura, o perfil pré-programado e a temperatura instantânea do sistema. Este controle facilita a análise do perfil desenvolvido pelo software ao exibir as variáveis de temperatura em tempo real.

Para controlar todo o processo, foi utilizado um microcontrolador Teensy, modelo 4.0 (PJRC, 2023), por ter frequência de trabalho e memória interna superiores aos microcontroladores convencionais disponíveis no mercado. Com ele, foi possível efetuar todos os cálculos necessários para os controladores, como PID, enviar

informações para o computador a fim de assegurar a calibração dos respectivos, e por fim apresentar no display HMI os dados processados e reunidos.

A programação do microcontrolador Teensy, utiliza o IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) da marca Arduino. Segundo Araujo *et al.* (2019), sua linguagem é binária, nem sempre simples de interpretar, por isso é utilizada como um tradutor que converte tudo que foi escrito de uma forma que o microcontrolador entenda o que se deseja. Sendo assim, o IDE atua como um facilitador, onde a linguagem C++ é utilizada e fornecida ao IDE para a conversão do código. Esta é a linguagem do IDE Arduino (ARDUINO, 2021).

Quanto ao controlador PID, segundo Faccin (2004), ele é um algoritmo de controle robusto, de fácil entendimento e que promove performance satisfatória com grande variedade de processos possíveis de aproveitamento, facilmente encontrado no mercado.

Já segundo Aguiar e Vendramini (2018), o controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é utilizado para compensar a dinâmica de vários tipos de sistemas. Por meio de três atividades combinadas, altera e compensa a dinâmica da resposta no tempo de um sistema. Assim, retira energia ou insere conforme a necessidade. O controlador PID tem várias aplicações no mercado, e, portanto, necessita ser configurado corretamente conforme necessidade personalizada do projeto.

Controladores PID fazem parte do projeto. Para realimentá-los, se faz necessário ter a real temperatura do processo, dado fornecido pelo termopar para que seja interpretado pelo microcontrolador, a fim de que o controle PID faça seus ajustes necessários.

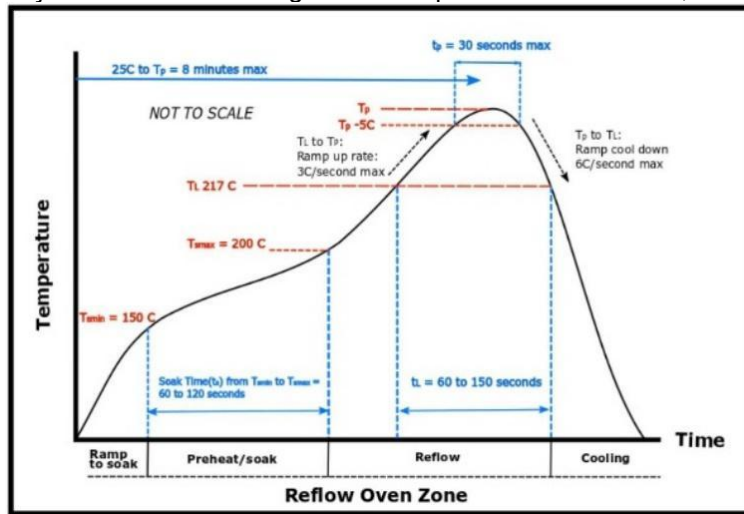
Um dos métodos possíveis de se utilizar em controladores como esse é o de Ziegler-Nichols (BUCZ; KOZÁKOVÁ, 2018), um dos bem conhecidos com o objetivo de rejeitar distúrbios e utilizando cálculos para se obter os valores dos coeficientes K_p , K_i , K_d , para assim utilizar em controladores do tipo P, PI, PID.

O dispositivo responsável por transformar energia elétrica em energia térmica é uma resistência elétrica desenvolvida para a aplicação capaz de aquecer um objeto em temperatura e tempo específicos.

Para ajudar a controlar a temperatura, um cooler foi instalado para retirar o excesso de calor produzido pela resistência elétrica a fim de controlar o processo e seguir o perfil de temperatura pré-programado. O cooler é uma ventoinha utilizada como boa alternativa de balanço térmico (FIALHO *et al.*, 2003).

Todos estes dispositivos reunidos são responsáveis por seguir um perfil de temperatura Figura 2 para soldagem de componentes eletrônicos. No perfil de temperatura, encontram-se fases de aquecimento em tempo específico que devem ser seguidos a fim de garantir qualidade da soldagem, processos no quais toda a placa é aquecida e a solda passa por diferentes etapas de temperatura (COL N. D. *et al.*, 2017).

Figura 2 – Classificação do Perfil de soldagem de componentes eletrônicos, sem adição de chumbo

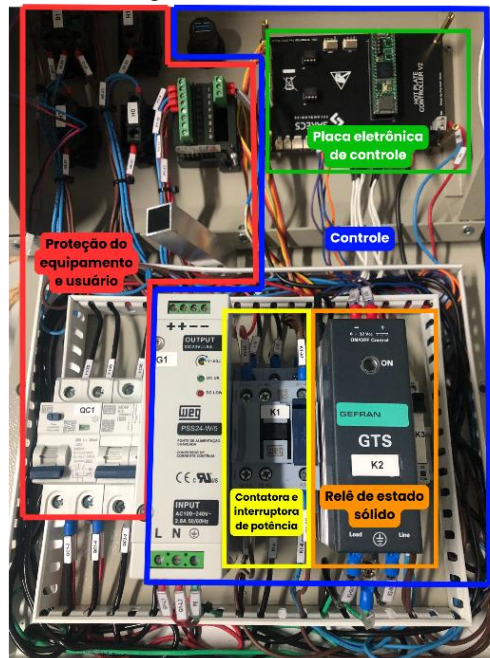


Fonte: (LANGE; WEBBER, 2018)

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do controle de temperatura em perfil, foi desenvolvido um comando elétrico com medidor de temperatura digital, e contadores de potência para bloquear a passagem de corrente caso haja algum problema que seja necessário intervenção, a qual pode ser via software ou mesmo ação humana (Figura 3).

Figura 3 – Comando elétrico

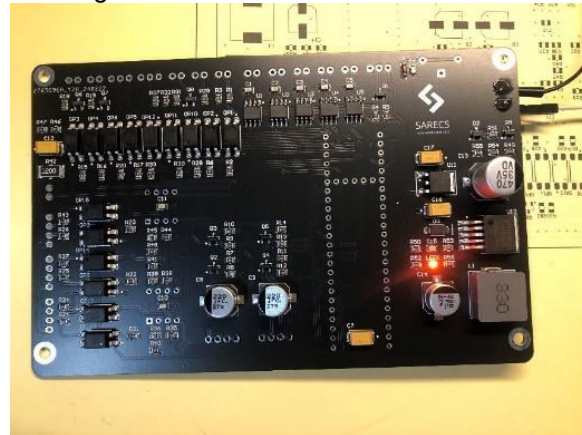


Fonte: (Próprio autor, 2024)

Para o controle preciso da quantidade de potência a ser entregue mediante controle variável, foi utilizado um relé de estado sólido SSR conforme é possível observar na Figura 3 (destaque em laranja) com o identificador “K2” de 40 Amperes. Uma placa de controle Figura 4 contendo o microcontrolador teensy 4.1 na parte de baixo foi responsável por todos os periféricos, medir cinco pontos de temperatura por meio de termopar do tipo K, medir corrente consumida pela resistência

elétrica, controlar e medir velocidade das ventoinhas, trocar dados pelo computador e exportar informações cruciais para a HMI.

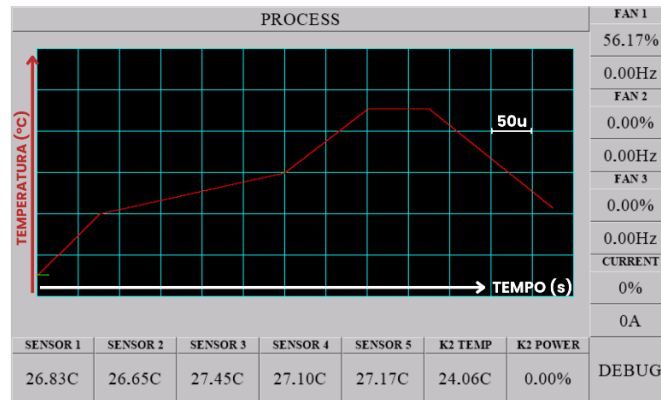
Figura 4 – Placa eletrônica de controle



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Na HMI desenvolvida foram consideradas três páginas principais: uma para acompanhar o processo de soldagem eletrônica Figura 5, a mais importante de todas, na qual é possível desenhar dois gráficos, sendo um deles com finalidade de traçar o percurso do aquecimento em perfil em vermelho, e o segundo gráfico em verde para acompanhar a evolução de temperatura durante o processo.

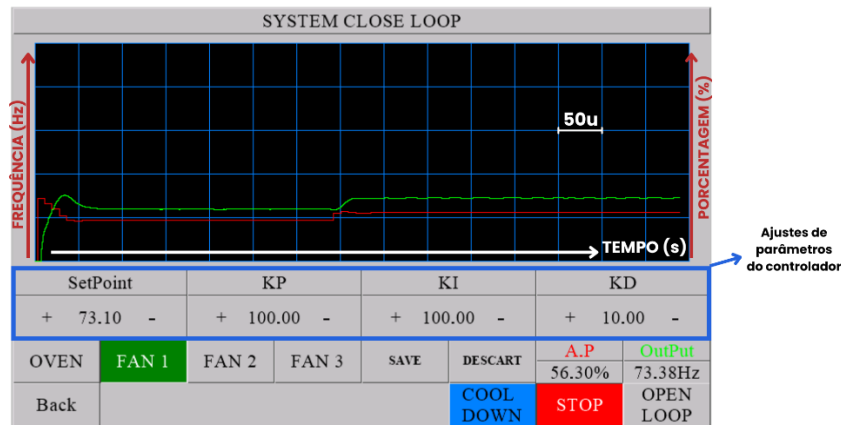
Figura 5 – Tela para monitoramento em tempo real do processo de soldagem gráfico perfil em vermelho.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

A segunda página foi desenvolvida para controlar e ajustar os controladores PID. Conforme Figura 6, foi rodado um teste em uma das ventoinhas para ilustrar melhor sendo em verde a resposta de velocidade em Hz da mesma e em vermelho a quantidade de energia sendo necessária para manter a rotação desejada estável em porcentagem. Nesta também, é possível escolher o dispositivo a ser observado, *setpoint* e os parâmetros do controlador, K_p , K_i , K_d , iniciar e exportar dados para o computador, facilitando a sintonia dos controladores PID.

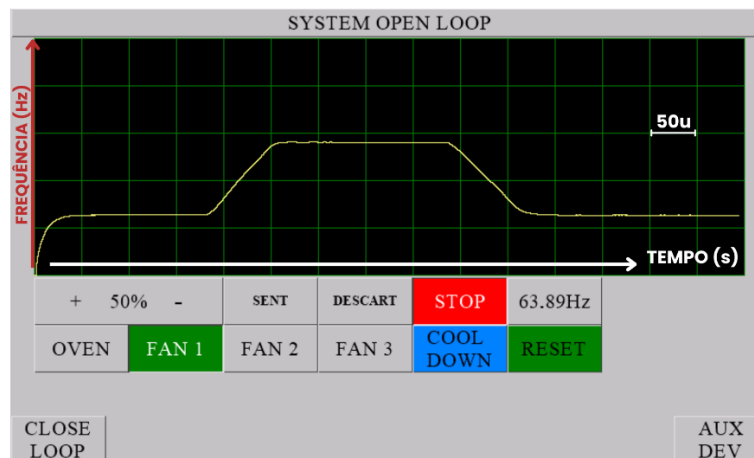
Figura 6 – Tela para reajuste dos parâmetros PID.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Por fim, a última página (Figura 7) é capaz de escolher o dispositivo e acompanhar a curva de resposta em malha aberta, auxiliando a sintonia dos parâmetros do controlador PID por alguns métodos desenvolvidos, como por exemplo Ziegler-Nichols, exportando os dados lidos para um computador. Desta forma, é possível analisar os dados mais precisamente.

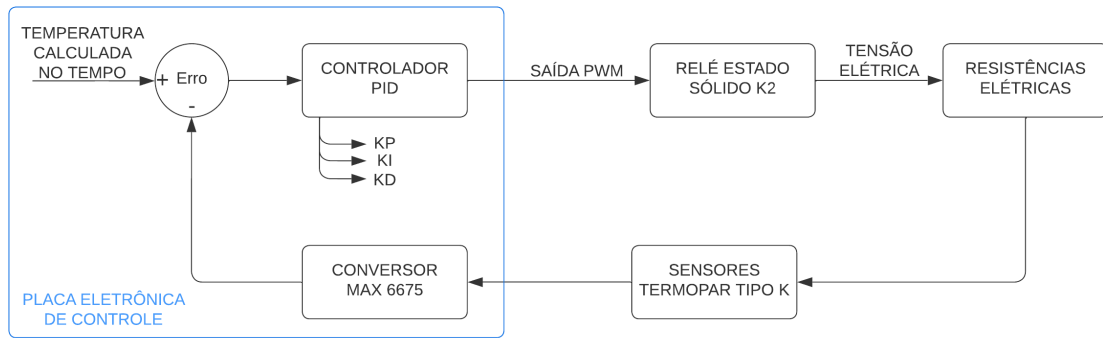
Figura 7 – Interface para monitoramento em malha aberta.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Na Figura 8, tem-se o modelo teórico para controle em malha fechada desenvolvida para o projeto em questão, que de acordo com o erro calculado é entregue ao controlador PID e com os parâmetros para sintonia entrega como saída uma resposta em PWM, que nada mais é do que uma tensão proporcional aplicada ao relé de estado sólido que se encontra na Figura 3, componente K2 (destaque em laranja), que por sua vez controla a quantidade de tensão para a resistência elétrica. Esta, por efeito joule, aquece uma placa de alumínio com sensores de temperatura, e por intermédio de conversores conectados na placa de controle eletrônico Figura 4 é possível que o microcontrolador instalado recalcule o erro resultante, e assim o processo continua.

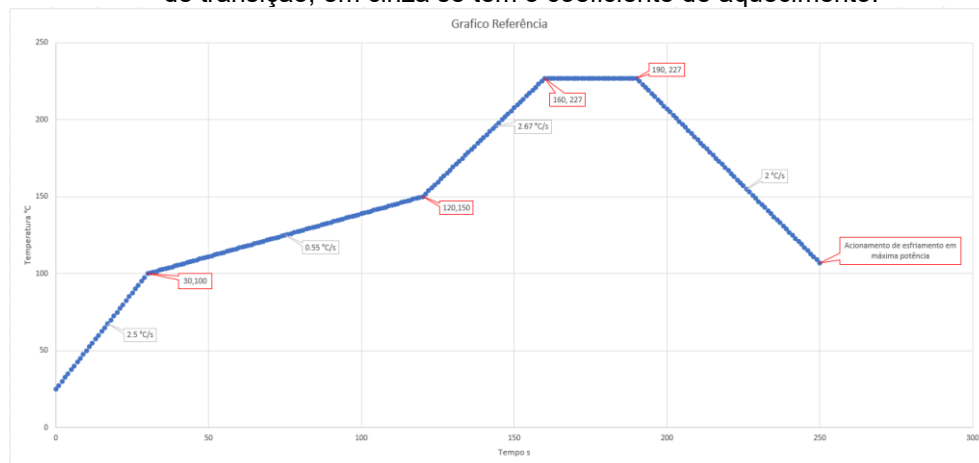
Figura 8 – Modelo teórico para controle em malha fechada.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Para se efetuar o processo de soldagem, foi necessário calcular um elemento resistivo para aquecimento de uma placa de alumínio ou cerâmica. No caso, foi usado o alumínio por ser fácil encontrar no mercado e de se trabalhar. No projeto, foi considerado um tamanho de uma folha de sulfite padrão A4. Com essa área, é possível soldar várias PCB como exemplo da Figura 4 no mesmo ciclo de trabalho.

Figura 9 – Gráfico referência em vermelho temos os pontos de transição, em cinza se tem o coeficiente de aquecimento.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

A Figura 9 é uma referência semelhante à Figura 2. Há muitos gráficos parecidos e cada fabricante de componentes indica um perfil específico. O ideal é atender os componentes mais sensíveis, podendo ser danificados por longos períodos a altas temperaturas, podendo ser modificado a fim de aprimoramento.

Para o desenvolvimento da resistência foi utilizada a Figura 9 como referência para iniciar os cálculos iniciais. No caso, foi utilizado a primeiro segmento de reta, o que indica que são necessários 30 segundos para alcançar 100°C. Logo, para cobrir todo o gráfico, foi arbitrado 225°C em 80 segundos, praticamente 2.8°C/s para compensar alguma perda natural não contemplada e ter potência suficiente para controle.

Para dimensionar a potência que a resistência precisa atingir para alcançar os objetivos previamente estabelecidos, foram utilizadas as equações fundamentais das leis de Ohm Eq1, Eq2 e de calorimetria Eq3:

$$U = R \cdot I \quad (\text{Eq1})$$

$$P = U.I \text{ (Eq2)}$$

$$Q = M.C.(\Delta T) \text{ (Eq3)}$$

Onde U = tensão (Volts), R = resistência (Ohm), I = corrente (Ampere), P = potência (Watts), M = massa (gramas), C = calor específico (cal/g.°C), e ΔT diferença de temperatura final e inicial em graus Celsius (°C).

Com a combinação das Equações Eq2 e Eq3 se tem Eq4 para ter como saída em Watts(W):

$$P = \frac{M.C.(T_{final}-T_{inicial}).4,18}{t_s} \text{ (Eq4)}$$

Detalhes construtivos do projeto:

- Peso específico de alumínio 2.7g/cm³
- Temperatura de referência inicial 25°C
- Temperatura máxima final 225°C
- Tempo objetivo 80 segundos
- Tensão de trabalho 220 Volts
- Dimensões da placa 297x210x3mm
- Massa calculada aproximada 486g
- Calor específico do alumínio 0,215 cal/g.°C

Substituindo os valores específicos do projeto em Eq4 se tem:

$$P = \frac{486.0,215.(225 - 25).4,18}{80} \Rightarrow P \cong 1091,92W$$

Logo, para aquecer a placa em questão de 25°C para 225°C em 80 segundos, é preciso investir aproximadamente 1092Watts constante. De fato, há muitas perdas que o cálculo não considera, porém se tem potência mais do que suficiente para conseguir bom resultado no processo de soldagem e é um bom ponto de partida para se iniciar a construção da resistência elétrica.

Figura 10 – Placa de alumínio para aquecimento superfície lisa e plana, na esquerda se tem as resistências instaladas.



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Foi utilizado 2 resistências de 600W cada que foram bem presas por rebites em superfícies polidas, dispostas no centro espaçadas de forma equidistante Figura 10. Não foi utilizado qualquer tipo de pasta térmica. Por fim, foi instalada no dispositivo desenvolvido Figura 11.

Figura 11 – Dispositivo montado



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Apesar de um projeto simples é possível estudar inúmeras formas de controle, limitando-se apenas pelo programa desenvolvido e instalado no microcontrolador da placa eletrônica, que com o auxílio de um display de 5 polegadas facilita a entrada de dados e observação da resposta quase que em tempo real.

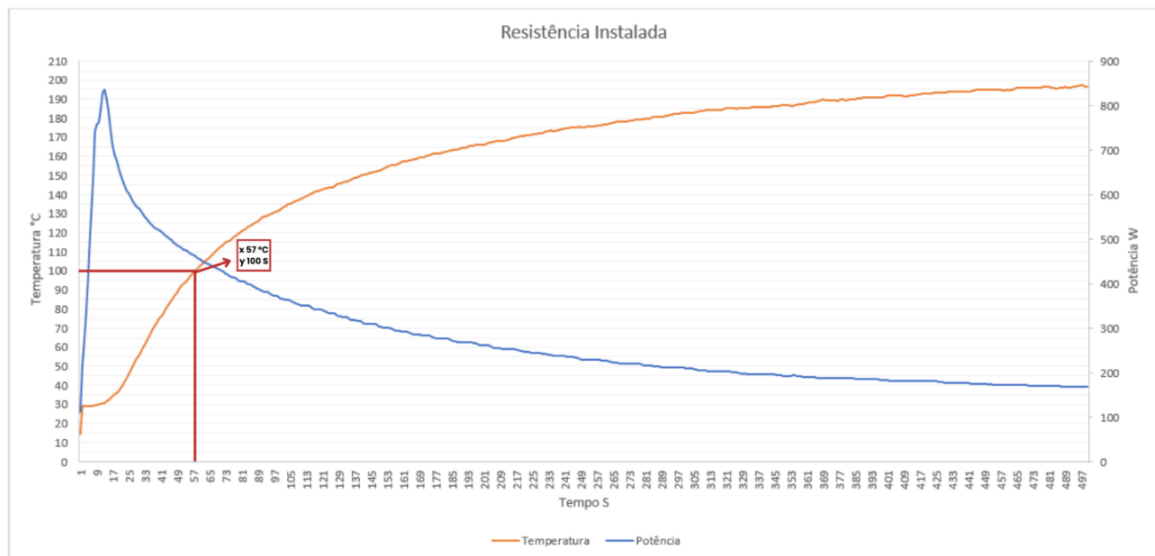
As nomenclaturas S1 à S6 ilustradas Figura 1 são sensores termopar de tipo K, e S7 é do modelo 18B20, apenas a fim de monitorar a temperatura do SSR. Apesar de muito eficiente, gera calor e se não controlado pode danificar o componente. Todo o controle é feito pelo display, porém há um único botão físico para iniciar o processo e em caso de emergência se pode pressionar o mesmo, para interromper o funcionamento da alimentação principal das resistências elétricas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para dar início às implementações com controles PID, foi necessário avaliar se todo o cálculo realizado para potência seria o suficiente para controle adequado. Com a placa pronta, foi instalada no dispositivo de potência e foi utilizado a segunda página da HMI em malha aberta com potência de 100% afim de extrair o máximo de potência, capturando as curvas de respostas e utilizando um limitador de temperatura redundante com o objetivo de não destruir ou danificar o equipamento no caso de ultrapassar 250°C.

Após o teste, foi notado que a potência entregue à carga (resistência elétrica) variava. Conforme a temperatura aumentava, a potência a ser entregue para placa de alumínio reduzia, assim consumindo muito tempo para chegar no objetivo pré-estabelecido. A Figura 12 foi retirada na observação de uma das resistências, pois a outra virou objeto de estudo científico (Figura 15).

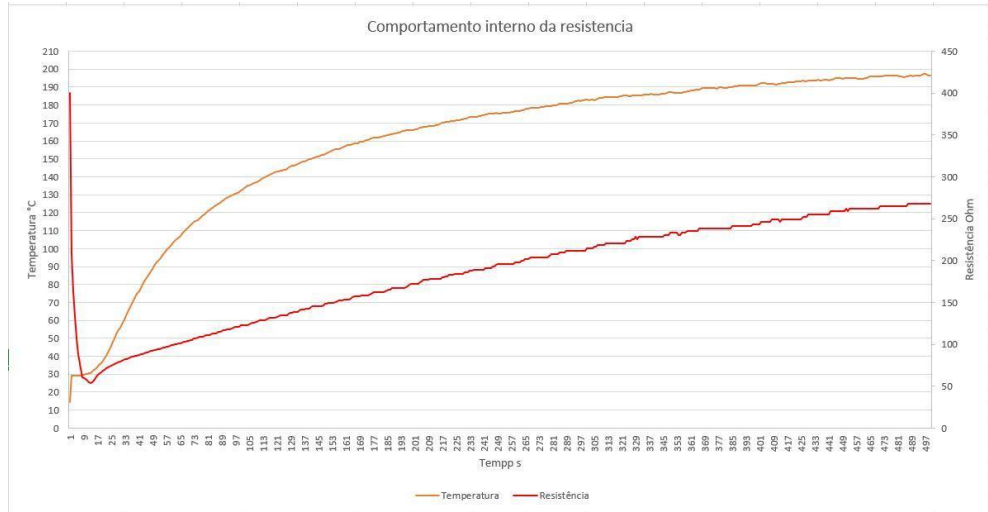
Figura 12 – Gráfico de potência x temperatura



Fonte: (Próprio autor, 2024).

Em temperatura ambiente próxima a 25°C, notou-se que a potência é máxima, porém conforme a temperatura incrementa, a potência entregue reduz drasticamente a ponto de dificultar o controle dos controladores PID, logo não seria capaz de atingir a temperatura em tempo estimado, o que acontece logo no primeiro ponto de referência (Figura 8) de 30 segundos para aquecer em 100°C, e no resultado apresentado (Figura 12) se tem a mesma temperatura atingida em aproximadamente 57 segundos. Isso aconteceu devido construção interna da resistência, não prevista, que se altera por temperatura com funcionamento semelhante ao termistor do tipo PTC. A Figura 13 demonstra o comportamento da resistência; ao longo do tempo, nota-se que conforme a temperatura sobe, a resistência interna aumenta proporcionalmente. O gráfico foi extraído utilizando as equações fundamentais das leis de Ohm (Eq1) pela referência de corrente consumida medida por um transformador de corrente 100A/50mA. Durante o teste, foi utilizada também para calcular a potência como é apresentada na Figura 12. Como a corrente máxima prevista para esse projeto é 20A, na placa eletrônica o sinal de saída do transformador de corrente foi amplificador em 5 vezes a fim de melhorar a resolução da leitura.

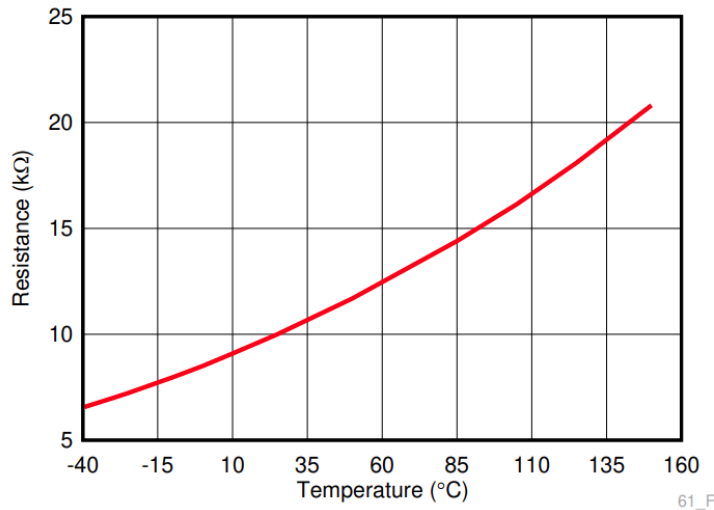
Figura 13 – Comportamento de termistor tipo PTC



Fonte: (Próprio autor, 2024).

A Figura 14 ilustra um gráfico de termistor, componente desenvolvido pela *Texas Instruments*, utilizado para monitoramento de temperatura, controle de processos industriais, entre outros. Nota-se que há uma certa semelhança entre as Figuras 13 e 14 em relação ao aumento da resistência interna mediante ao aumento de temperatura.

Figura 14 – Termistor PTC, TMP61



Fonte: (Texas Instruments, 2023).

Uma peça foi aberta com objetivo de retirar o limitador de corrente, porém não se soube qual seria seu limitador a não ser toda a estrutura. A Figura 15 apresenta a construção interna do mesmo.

Figura 15 – Resistência desmontada



Fonte: (Próprio autor, 2024).

A parte superior da Figura se encontra uma das faces da suposta resistência feita de alumínio e conectada à mesma uma das fases da rede elétrica. Na outra face, há outra fase e ao meio se encontram as “pastilhas” condutoras em cinza, e em branco os isolantes utilizados como espaçadores e todos montados dentro de um envelope não condutor elétrico e prensados em um suporte de alumínio bem rígido.

5 CONCLUSÃO

A proposta do trabalho foi desenvolver um método para controlar temperatura em um perfil de temperatura pré-estabelecido com o objetivo de soldar componentes eletrônicos por intermédio de leituras de temperatura e controladores PID. Para isso, foi necessário desenvolver uma referência para desenvolver uma resistência capaz de ter potência suficiente para controle, porém a resistência escolhida não teve êxito, pois internamente a si haviam limitadores de potência, incapacitando o projeto de atingir aos seus objetivos.

O ideal é que a resistência tenha capacidade térmica suficiente para manter a potência ao longo do processo, sendo apenas administrado pelos controladores sem muitos obstáculos.

A eletrônica, a programação e a HMI funcionaram como previsto. Como trabalho futuro, pretende-se usar um sistema de aquecimento que atenda aos requisitos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Luigi, Gustavo; VENDRAMINI, Gabriel. **Estudo e Análise das Ações de Controle PID em um Determinado Sistema em Malha Fechada**. UNIARA, Universidade de Araraquara. Araraquara, SP. 2018.

ARAUJO, Monteiro, Wanderley; CAVALCANTE, Machado, Maxwell; DA SILVA, Oliveira, Rogerio. Visão Geral sobre **Microcontroladores e Prototipagem com Arduino**. Revista Tecnologias em Projeção, v10, n°1. p.36. Escola de Tecnologia da Faculdade Projeção Brasília. Brasília, DF. Ed. 2019.

ARDUINO Company. **Versão IDE 1.8.19 2021.12.20 Security Hotfix Release**. 2021. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/software/ReleaseNotes>>. Versões

anteriores disponíveis em
<<https://www.arduino.cc/en/software/OldSoftwareReleases>>. Acesso em 01 de dez. de 2023 às 22:44.

BRAGA, C. Newton. **Como Funcionam os Relés de Estado Sólido. Artigo 651**, Instituto NCB. Guarulhos, SP. Disponível em <<https://www.newtoncbraga.com.br/como-funciona/4915-art651.html>>. Acesso em 25 de nov. de 2023 às 21:14.

BRAGA, C. Newton. **Como Soldar - Iniciando (MEC 066)**. Instituto NCB. Editora Newton C. Braga. Guarulhos, SP, 2018. Disponível em <<https://www.newtoncbraga.com.br/robotica-e-mecatronica/3574-mec066.html?highlight=WyJzb2xkYSIsImZyaWEiXQ>>. Acesso em 25 de nov. de 2023 às 14:44.

BUCZ, Štefan; KOZÁKOVÁ, Alena. **Métodos Avançados de Ajuste do Controlador PID para Desempenho Especificado**. Controle PID para Processos Industriais. Volume editado. ISBN 978-1-78923-701-6. Editor Mohammad Shamsuzzoha. Estados Unidos. 2018.

CAVADAS, da Silva, Tiago Manuel. **Sistema HMI 7"**. ProQuest Dissertations Publishing. Instituto Politécnico do Porto (Portugal). 30206294. Paranhos, Distrito do Porto, Portugal. [s. n.], 2019.

COPA-DATA Headquarters. **Artigo O que é HMI?** Zenon Software e Platform by Copa-data. Brasil, 2018. Disponível em <<https://www.copadata.com/pt/produtos/zenon-software-platform/visualizacao-controle/o-que-e-hmi-a-interface-homem-maquina-copa-data/>>. Acesso em 02 de dez. de 2023 às 21:09.

COL N. D. Robson; CORDEIRO, A. S. Daniel; FERREIRA, V. M. Diógenes; OLIVEIRA P. Rafael; SANTANA C. Adrielle. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Temperatura de um Forno Elétrico à Resistência para Soldagem Reflow**. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Porto Alegre, RS. 2017.

FACCIN, Flávio. **Abordagem Inovadora no Projeto de Controladores PID**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação e Mestrado. Porto Alegre, 2004.

FIALHO, Rodrigues, Robson; FREIRE, Jr. Paulo; GORNI, Augusto, Antônio; PEREIRA, Martins, Mauricio; PFEITSTICKER, Klaus, Guilherme; ROSA, da Silva, Lucio. **Análise de Desempenho de Fornos para Laminação e Tratamento Térmico Através de Balanço Térmico**. XXIV Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo, SP. 2003.

LANGE, Bernhard; WEBBER, Allan. **MSL Ratings and Reflow Profiles**. Application Report. Semiconductor Products. Texas Instruments. 2018. Disponível em <https://www.ti.com/lit/an/spraby1a/spraby1a.pdf?ts=1701556031072&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fsupport-

quality%252Freliability%252Freliability-home.html>. Acesso em 02 de dez. de 2023 às 23:42.

ÔMEGA ENGINEERING, INC. **Manual de Referência Técnica de Temperatura.** Brasil. 2015. Disponível para download e em <https://br.omega.com/literature/temperature/online/Temperature_Handbook.pdf>. Acesso em 25 de nov. de 2023 às 13:10.

ÔMEGA ENGINEERING, INC. **Diferentes Tipos de Relés (mecânicos, SSR, internos ou externos).** Artigo técnico. Brasil. 2015. Disponível para download e em <https://br.omega.com/literature/temperature/online/Temperature_Handbook.pdf>. Acesso em 02 de dez. de 2023 às 19:56.

PJRC. **Electronic Projects Components Available Worldwide. Teensy® 4.0 Development Board.** Dados do fabricante. Oregon, Estados Unidos. 2023. Disponível em <<https://www.pjrc.com/store/teensy40.html>>. Acesso em 02 de dez. de 2023 às 21:59.

TEXAS INSTRUMENTS. **TMP61 ±1% 10-kΩ Linear Thermistor With 0402 and 0603 Package Options.** SBOS921F. Publicado em dezembro de 2018, revisado em novembro de 2023. Disponível em <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp61.pdf?ts=1730667295138&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMP61%252Fpart-details%252FTMP6131DYAR>. Acesso em 03 de nov. de 2024 às 17:35.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pela compreensão de minha audiência enquanto me dediquei fortemente a meus estudos e aprimoramentos, e à minha companheira que sempre me deu apoio e novas perspectivas em cada desenvolvimento que fiz - pois sei que muito abdiquei de estar ao lado dela para poder concluir todas as responsabilidades necessárias. Agradeço ainda ao meu professor orientador Hugo Sakai Idagawa, e aos meus professores Michel de Moura Chaparro, Luciano André dos Santos e Daniel Filipe Vieira, todos do SENAI Roberto Mange de Campinas.

SOBRE O AUTOR:

ⁱ César Nogueira de Sousa (Autor)



Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Wyden (2021), Pós-Graduação em Mecatrônica, Robótica e Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade SENAI Roberto Mange de Campinas (2024). Vivência em gestão de projetos, desenvolvimento de projetos de automação, linguagens de programação e desenvolvimento de componentes eletrônicos. É Engenheiro de Projetos aplicados ao setor de exaustão industrial e Coordenador de Departamento de Automação.