



**FACULDADE METROPOLITANA DE MANAUS
CENTRO UNIVERSITARIO
ESPECIALIZAÇÃO EM APRENDIZADO DE MÁQUINA (MACHINE LEARNING)**

**AUTOMAÇÃO DO PROFILE DO FORNO REFLOW
COM APRENDIZADO DE MÁQUINA**

**Autor: ASAFE FRANK MONTEIRO DOS REIS
Orientador: EDUARDA CRISTINA ALBUQUERQUE DOS SANTOS**

MANAUS-AM 2025



FACULDADE METROPOLITANA DE MANAUS
CENTRO UNIVERSITARIO
ESPECIALIZAÇÃO EM APRENDIZADO DE MÁQUINA (MACHINE LEARNING)

AUTOMAÇÃO DO PROFILE DO FORNO REFLOW
COM APRENDIZADO DE MÁQUINA

Artigo apresentado à Faculdade Metropolitana de Manaus, como requisito parcial para obtenção do título de especialização em Aprendizado de máquina (Machine Learning).
Orientador: Eduarda Cristina Albuquerque Dos Santos.

AUTOMAÇÃO DO PROFILE DO FORNO REFLOW COM APRENDIZADO DE MÁQUINA

Asafe Frank Monteiro dos Reis

Eduarda Cristina Albuquerque dos Santos

Resumo

O artigo em questão tem foco propor uma forma para definir de maneira eficiente e eficaz as temperaturas de cada zona de aquecimento e a velocidade necessária para transportar a placa dentro do forno de forma padrão e adequada aos requisitos necessários para garantir a soldabilidade. Com o aprendizado de máquina o tempo necessário para definição de parâmetros irá passar de 4h para 45min, traz consigo a redução de custos associado ao menor tempo de parada do processo, mão de obra, redução de scraps de componentes. A definição correta das temperaturas de cada zona e seu teste gráfico com sensores em cada área do material são obrigatórias para garantir a qualidade dos produtos com inclusão principalmente da longa durabilidade.

A soldagem de componente com pasta de solda consiste no processo de aplicação da solda em uma placa de circuito conforme o material a ser produzido, passa pelo processo de montagem dos componentes que formam o modelo adequado.

Os resultados mostraram melhorias significativas no processo, incluindo uma maior precisão nos ajustes das zonas, redução do tempo de análise, especialmente para componentes sensíveis. A automação não só aumentou a eficiência da operação, mas também possibilitou um controle mais refinado das condições do forno, resultando em produtos de melhor qualidade.

Palavras-chave

Redução de custo. Aprendizado de máquina. Otimização de processos. Eficiência no processo de soldagem.

Abstract

This article focuses on proposing an efficient and effective way to define the temperatures of each heating zone and the necessary speed to transport the board inside the oven in a standard manner, meeting the requirements necessary to ensure solderability. With machine learning, the time required to define parameters will decrease from 4 hours to 45 minutes, bringing cost reduction associated with less downtime, labor, and a decrease in component scraps. The correct definition of the temperatures for each zone and their graphical testing with sensors in each area of the material are mandatory to guarantee the quality of the products, particularly regarding their long-term durability. The soldering of components with solder paste involves applying solder onto a circuit board according to the material being produced, followed by the assembly of components that form the appropriate model. The results showed significant improvements in the process, including greater precision in zone adjustments, reduced analysis time, especially for sensitive components. Automation not only increased the operational efficiency but also enabled more refined control of the oven conditions, resulting in better-quality products.

Keywords

Cost reduction. Machine learning. Process optimization. Soldering process efficiency.

1.INTRODUÇÃO

Os limites da eficiência humana se tornaram recursos poderosos com algoritmos computacionais que aumentam a eficácia e geram valor, transformando os resultados organizacionais através do uso de melhores sistemas de apoio à decisão (CHUTE et al., 2010; KRAUSE, 2015; REDDY, 2015). A inteligência artificial traz a definição de evolução da capacidade das máquinas para conter as mesmas ou melhores estratégias dos pensamentos humanos, aprendendo, raciocinando, e decidindo um determinado problema. (MC CARTHY, 1958).

Estes métodos que trabalham com dados expostos em modelos que suportam o processamento de algoritmos que implementam modelos probabilísticos formam uma área da IA denominada Aprendizado de Máquina (MONARD, 2003).

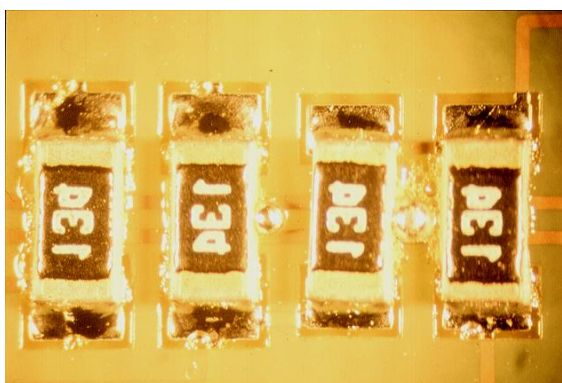
2.COMPONENTES E SUAS CARACTERÍSTICAS.

Cerca de 82,6% do lixo eletrônico global é reciclado informalmente dentro de setores sem organização do fluxo, fazendo com que a cadeia de produção fique em falta e perca total controle dos resíduos, scraps, e seus destinos (RAUTELA,2021).

Componentes como resistores, capacitores são arquitetados com limites de temperatura que, se não tiver um controle e configuração adequados, causam falhas irreversíveis. Semicondutores, por exemplo, em caso de exposição a altas temperaturas por períodos prolongados, suas estruturas podem ser degradadas.

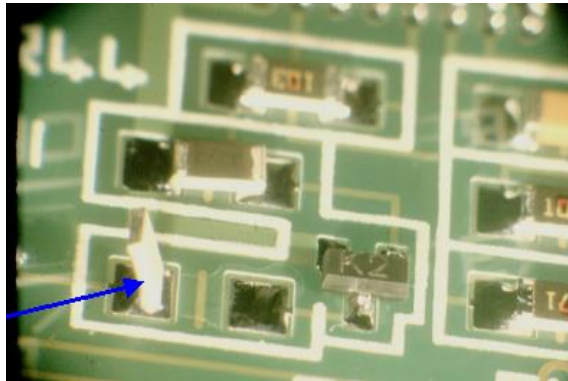
Nos fornos de soldagem (SMD), dividido em sua maioria em 10 zonas, contém ajustes com processos demorados e requer técnicas e experiência, a errada definição de temperaturas e velocidades podem resultar em diversos erros de soldagem, tombstoning, solder balls, insuficiência, comprometendo a funcionalidade do produto e até podendo ter a perda do material.

Figura 1 – Componente com Solder all.



Fonte: Site dstools.com.br.

Figura 2 – Componente com Tombstoning.



Fonte: Site dstools.com.br.

Tombstoning ocorre quando um lado do componente é soldado antes do outro, defeito causado em sua maioria por aquecimento desigual entre as extremidades do componente, terminais desnivelados.

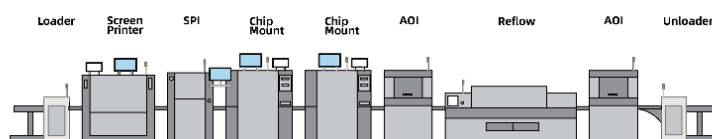
O solder ball consiste na formação de pequenas bolas esféricas de solda ao redor do componente com a solda da placa, defeito normalmente causado por excesso de pasta de solda, contaminação, micro explosões do fluxo durante a refusão.

3. FORNO DE REFLUXO E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

A montagem com componentes (SMD) é utilizada para produzir circuitos no qual o material é colocado diretamente na superfície das placas de circuito impresso. O uso da tecnologia SMT resultou em muitos eletrônicos de tamanhos menores.

A formação do processo de produção consiste primeiramente na impressão da solda, é feito a impressão de estêncil na superfície da placa em pontos estratégicos onde será montado os componentes, posteriormente é feito a inspeção da placa com a solda para verificar se tem a quantidade necessária de solda, após a inspeção é feito a montagem dos componentes, a placa passa pelo forno de refluxo onde é feito o aquecimento da solda, e finalizado na inspeção final para verificação, caso ocorra defeitos como o tombstoning, falta de componente, solder ball.

Figura 3 – Exemplo de Linha SMT.



Fonte: Site dstools.com.br..

O forno de refluxo é o processo fundamental na montagem de placas SMD, é utilizado para a parte da soldagem dos componentes na placa de circuito impresso de forma precisa, utilizando o calor previamente testado para criar a conexão da solda.

A estrutura do forno de refluxo em sua maioria é dividido em zonas de aquecimento, contendo normalmente de 7 a 10 zonas, cada zona com uma utilidade específica, dentre elas as principais consistem em:

1- Zona de pré-aquecimento: A pcb é aquecida de forma gradual para a ativação do fluxo na pasta de solda, removendo óxidos e preparando a solda para a fusão, evitando choques térmicos.

2- Zona de estabilização: Para garantir o aquecimento total da placa de maneira uniforme, a temperatura se mantém constante, e faz a ativação do fluxo da solda.

3- Zona de pico: Esta é a parte mais crítica do processo, que deve ser controlado constantemente, é o estágio onde a temperatura vai ao seu limite, fazendo com que a pasta derreta e forme as conexões elétricas.

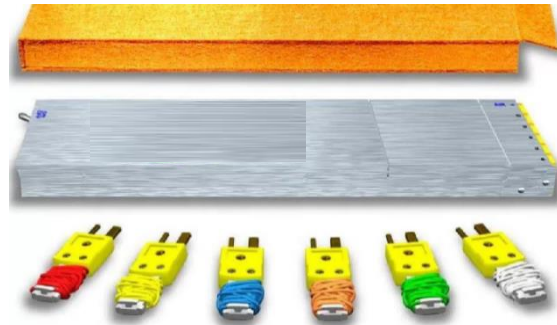
4- Resfriamento: Nesta etapa a temperatura da pcb é reduzida de maneira controlada para a solidificação das juntas de solda.

Cada zona pode ser configurada individualmente, ajustando a temperatura, e a velocidade da esteira, garantindo a versatilidade para os diversos tipos de placas.

4.DEFINIÇÃO DAS ZONAS DO FORNO COM PERFIL DE TEMPERATURA.

O processo de definição das zonas do forno de refluxo é um ponto fundamental para a soldagem dos componentes. É feito a definição da variação da temperatura, garantindo as etapas de forma controlada do processo, o forno traz um gráfico baseado em um equipamento com termopares que é passado no forno.

Figura 4 – Perfilador térmico, para fazer o perfil de temperatura do forno.

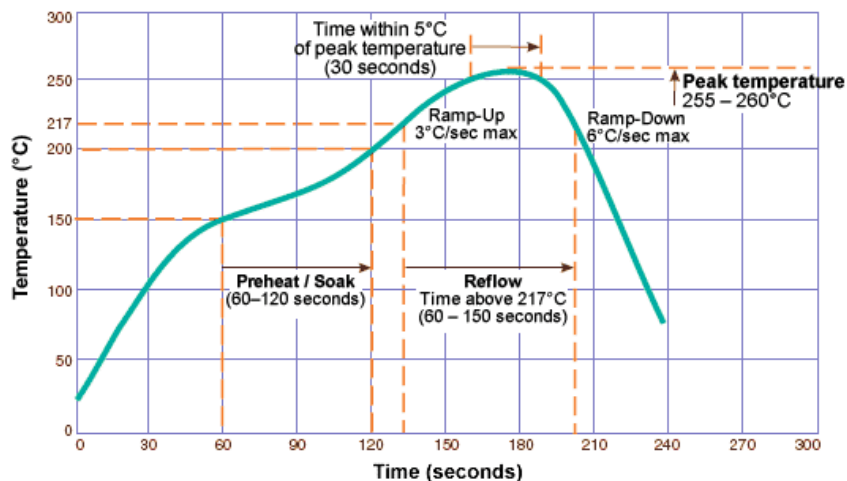


Fonte: Site portuguese.smtreflowsoldering.com.

Como referência do perfil de temperatura, tem-se o gráfico padrão para o monitoramento e ajuste de cada etapa do processo, garantindo que a solda atinja a fusão no momento adequado e que não haja componentes danificados por temperaturas inadequadas.

O gráfico padrão, ilustra o exemplo de perfil utilizado em fornos de refluxo, dividido em 4 etapas, o pré-aquecimento, estabilização, pico, resfriamento.

Figura 5 – Gráfico padrão de perfil de temperatura.



Fonte: ARANGUREN (2012 p.285).

A definição do perfil de temperatura é um desafio, mesmo com o gráfico padrão como base. Fatores como a diferença de material, condições do equipamento, necessidade de quantidade de produção tornam o ajuste manual das temperaturas e velocidade um processo trabalhoso e com grande chance de erros. É necessário

ajustes minuciosos e testes constantes para se obter a conformidade com o padrão, podendo resultar em grande tempo de parada, e aumento de custos.

Com o desenvolvimento de uma solução baseada em inteligência artificial (IA) para superar essas dificuldades, solução que reduzirá o tempo de configuração de 3 horas para cerca de 45 minutos, também diminuirá custos com desperdícios de material e tempo, garantindo assim a extrema qualidade do produto. A ideia é trazer um código capaz de analisar automaticamente o gráfico gerado no teste de perfil diário e, de acordo com as não conformidades, recomendar as mudanças necessárias para ajuste das temperaturas e velocidade de cada zona do forno.

5.MATERIAIS E MÉTODOS

Para que a solução proposta com inteligência artificial seja capaz de fazer a análise do gráfico trazido pelo perfilador e oferecer as modificações adequadas de forma automática, utilizaremos o python como linguagem principal, por conta de sua grande facilidade e quantidade de bibliotecas para integrar projetos.

Para fazer a criação e treinamento de um modelo de rede neural capaz de analisar os desvios no perfil de temperatura e trazer os ajustes necessários nas zonas, e para a validação dos resultados utilizaremos o pytorch e o scikit-learn. Para a interpretação dos gráficos e para simular os gráficos resultantes utilizaremos o OpenCv e o Matplotlib. Para organizar os dados extraídos em tabelas para manipular e para as operações matemáticas utilizaremos o Pandas e o Numpy. Para criar uma interface que permita o dowload e upload dos gráficos e para facilitar a implementação utilizaremos Flask e o Docker.

A atuação da inovação será: Upload e leitura do gráfico, processamento da imagem, calculo com a inteligência artificial, e recomendações de alterações de temperatura e velocidade dos fornos.

Figura 6 - Trecho do código onde é feito o recebimento do gráfico feito a análise e retorno das modificações necessárias.

```
# Instanciando o modelo
model = TemperatureAdjustmentModel()

# API para receber gráficos
@app.route('/upload-graph', methods=['POST'])
def upload_graph():
    # recebimento dos dados do gráfico (JSON ou imagem)
    data = request.json.get('graph_data', [])
    input_data = torch.tensor(data, dtype=torch.float32) # Converte os dados para tensor PyTorch

    # confirmação que os dados tenham o formato correto
    if len(input_data) != 100:
        return jsonify({"error": "Dados do gráfico devem conter 100 valores."}), 400

    # Executa o modelo para obter os ajustes sugeridos
    adjustments = model(input_data).detach().numpy().tolist()

    # Retorna os ajustes sugeridos em formato JSON
    return jsonify({"adjustments": adjustments})
```

Fonte: Autores.

6.RESULTADOS

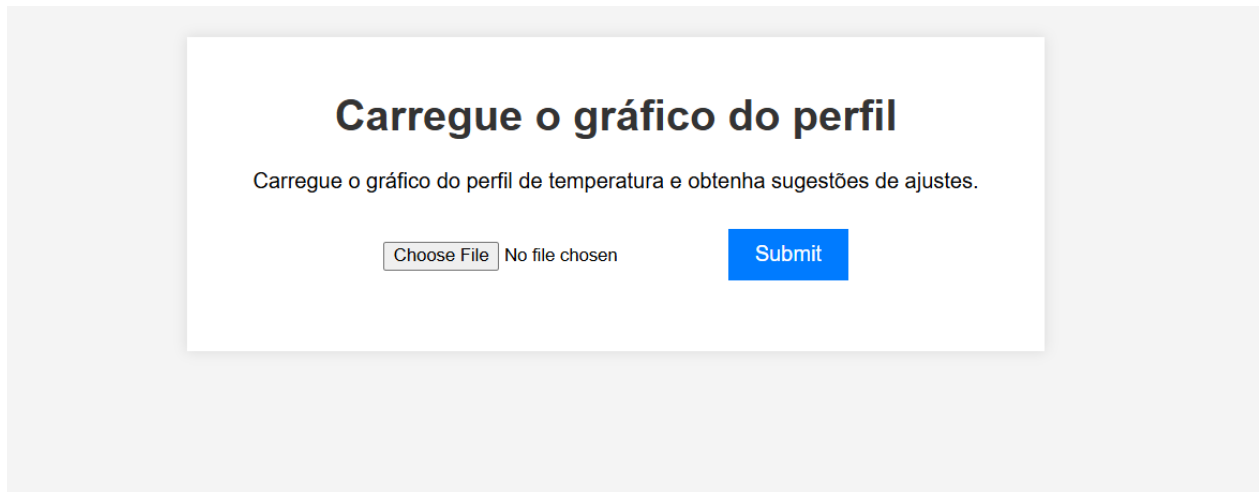
O objetivo do projeto em questão foi automatizar a análise e ajustes do processo de profile no forno de refluxo que consiste na linha de montagem SMD, utilizando uma IA para identificar e sugerir alterações nas zonas e velocidade do forno com base em um gráfico padrão e nos gráficos gerados diariamente.

A automação do processo traz benefícios de tempo, qualidade e precisão. A IA foi capaz de identificar mudanças pequenas que poderiam passar despercebidas pelo operador, aumentando mais ainda o tempo para fechar o processo.

Para ilustrar o processo, segue exemplos com dados e os passos para definição do perfil do forno de refluxo:

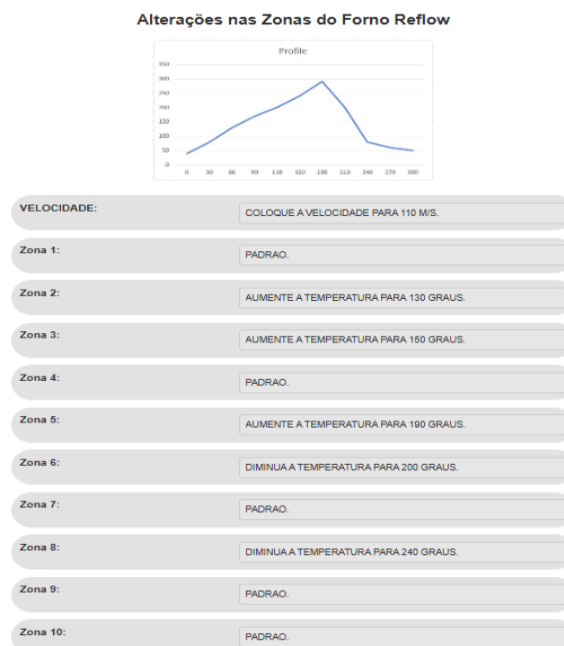
- 1- É feito a primeira corrida no forno que traz os resultados em gráficos, é feito coleta dos dados do gráfico e transformado no formato CSV.
- 2- O gráfico é carregado no sistema de forma interativa para os usuários.
- 3- O sistema irá automaticamente analisar o gráfico e trazer sugestões de alteração de cada zona.

Figura 7 - Parte do front-end, onde o usuário irá carregar o gráfico.



Fonte: Autores.

Figura 8 - Sugestão dada pela IA para modificação na configuração do forno de Refluxo.



Fonte: Autores.

4- Após as alterações é feito novamente a passagem da placa com os termopares para concretizar e registrar os resultados.

Figura 9 - Retorno trazido após carregar um gráfico dentro ou próximo dos padrões.



Fonte: Autores.

A implementação da automação trouxe uma abordagem eficaz para a melhora da precisão, e redução do tempo. A automação do processo não apenas otimiza, mas também proporciona um controle mais refinado das condições do equipamento, trazendo a segurança de uma maior qualidade dos produtos. Além disso, a automação proporcionar mais mão de obra para outras tarefas, trazendo maior produção na linha.

8.Referências

FEIGENBAUM, Armand V. *Controle da qualidade total*. São Paulo: Makron Books, 1994.

DORO, M. M. *Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

LENZ, Maikon Lucian et al. *Fundamentos de aprendizagem de máquina*. Porto Alegre: Sagah, 2020.

NNETTO, Amilcar; MACIEL, Francisco. *Python para Data Science e Machine Learning Descomplicado*. Editora Altas Ebook, 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555203172>. Acesso em: 20 de dezembro, 2024.

SMITH, J. et al. AI in Electronics Manufacturing. *Journal of Industrial AI*, v. 45, n. 3, p. 234-250, 2023.

CEN, Yuqiao; LAI, Yangyang; PAN, Ke; YANG, Junbo; CAI, Chongyang; YIN, Pengcheng; PARK, Seungbae. Reflow profiling with the aid of machine learning models. 2022.

BRITO, Daniel Miranda; ALMEIDA JUNIOR, Iron Araújo; QUEIROGA, Eduardo Vieira; RÊGO, Thaís Gaudencio do. Predição de desempenho de alunos do primeiro período baseado nas notas de ingresso utilizando métodos de aprendizagem de máquina. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 2014.

BARBIERI, C. et al. An international observational study suggests that artificial intelligence for clinical decision support optimizes anemia management in hemodialysis patients. *Kidney International*, v. 90, n. 2, p. 422-429, 2016.

CHUTE, C. G. et al. The Enterprise Data Trust at Mayo Clinic: a semantically integrated warehouse of biomedical data. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, v. 17, n. 2, p. 131–135, 2010.