



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MATHEUS SILVA E SILVA

**ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO
AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT**

MANAUS – AM
2022

MATHEUS SILVA E SILVA

**ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO
AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profa. Ma. Marisol Elias Barros Plácido

MANAUS – AM
2022

Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro

S586e Silva, Matheus Silva e.

Estudo e análise do funcionamento de uma máquina de inserção automática no processo SMT / Matheus Silva e Silva. – Manaus, 2022.

47 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*, 2022.

Orientadora: Profa. Ma. Marisol Elias Barros Plácido.

1. Engenharia mecânica. 2. Capacidade produtiva. 3. Otimização de processo. I. Plácido, Marisol Elias Barros. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas III. Título.

CDD 621

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT

POR

MATHEUS SILVA E SILVA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em XX de XXXX de 2022 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Orientadora Profa. Ma. Marisol Elias Barros Plácido

Avaliador: Prof. Plácido Ferreira Lima

Avaliador: Dr. Ailton Reis

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, que sempre me conduziu ao caminho do conhecimento, com lições e ensinamentos.

Ao Instituto Federal do Amazonas, que por meio de excelentes colaboradores me proporcionou a possibilidade de ser o que hoje sou, em especial, à minha orientadora, que colaborou incansavelmente e genialmente para a construção deste trabalho.

Aos meus amigos Samantha Souza, Tiago Rocha, Henrique Bezerra, Hian Costa e Rafael Leles que estiveram comigo todos esses anos sempre encorajando uns aos outros, ajudando nos tempos difíceis e rindo nos momentos alegres.

À minha família: minha mãe Eliomara Borges da Silva, meu padrasto Raimundo Nonato Marinho de Brito e minha irmã Mayara Silva e Silva por sempre me apoiarem de todas as maneiras possíveis.

À minha esposa Aila Mariana Queiroz por entender cada sacrifício, por me pressionar quando foi necessário, por ser minha maior fã e por ser a pessoa que soube comemorar cada vitória e esforço durante esses anos.

À minha princesa Saori Sales Silva, que ainda não entende muita coisa, mas sabe que representa tudo para mim.

E, em memória especial aos meus avós maternos, Eliomar Ferreira da Silva e Helenilza Borges da Silva que são pais para mim, mas que infelizmente não estão mais fisicamente comigo. Por onde quer que eu vá, sei que me acompanharão. Essa vitória é de vocês.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: SMD passivo.	12
Figura 2: Diodos e transistores.	13
Figura 3: Circuitos integrados.	14
Figura 4: Orifícios.	15
Figura 5: Almofadas nas placas de circuito impresso.	17
Figura 6: Máquina em funcionamento.....	18
Figura 7: Precisão e repetição das máquinas.	23
Figura 8: Sistema de visão e identificação das imagens.....	26
Figura 9: Ciclo PDCA.	30
Figura 10: Processo de otimização no software de programação de máquinas.....	32
Figura 11: Exemplo de código a ser lido pelo scanner antes da alimentação	32
Figura 12: Layout de linha.....	33
Figura 13: Máquina pick and place.	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo do tempo de montagem de placas eletrônicas.	34
Gráfico 2: Comparativo de quantidade de placas produzidas por hora.	35
Gráfico 3: Comparativo de quantidade de placas produzidas por mês.	36

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, a indústria busca cada vez mais melhorias para que seu produto tenha o mínimo de complicações e o máximo de quantidade de produção em seu processo. O desenvolvimento industrial nos permite ter inúmeras opções para o controle do processo produtivo. O objetivo do estudo presente é demonstrar como funcionam as máquinas de inserção automática, que hoje possuem melhorias para que haja mais eficácia e confiabilidade nos equipamentos, além de investigar possibilidades de melhorias, em um processo específico, com a finalidade de demonstrar suas diferenças e sugerir qual será mais vantajoso a ser utilizado. Para chegar no objetivo proposto, foi realizado um estudo de caso, de metodologia descritiva e explicativa através de análises de otimização de um produto no processo *Surface Mount Technology* (SMT).

Palavras-chave: Capacidade produtiva; Máquina de Inserção Automática; SMT; Otimização de processo.

ABSTRACT

As technology advances, the industry is increasingly looking for improvements so that its product has the minimum of complications and the maximum amount of production in its process. Industrial development allows us to have numerous options for controlling the production process. The objective of the present study is to demonstrate how automatic insertion machines work, with nowadays improvements so that there is more efficiency and reliability in the equipment, in addition to investigating possibilities for improvements, in a specific process, to demonstrate their differences and suggest which will be more advantageous to use. To reach the proposed objective, a case study was carried out, with a descriptive and explanatory methodology through optimization analyzes of a product in the Surface Mount Technology process.

Keywords: Productive capacity; Automatic Insertion Machine; SMT; Process optimization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES SMD.....	12
2.1.1 Componentes SMD passivos - Capacitores e Resistores	12
2.1.1.1 Diodos e transistores	13
2.1.1.2 Circuitos integrados (CI).....	14
2.2 MONTAGEM SMT VERSUS MONTAGEM EM ORIFÍCIO	15
2.3 ESCOLHA E COLOCAÇÃO DE COMPONENTES SMD	17
2.3.1 Soldagem por refluxo	19
2.4 DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA <i>PICK & PLACE</i>	20
2.5 MATERIAIS UTILIZADOS PARA SELEÇÃO DE UMA MÁQUINA <i>PICK AND PLACE</i>	21
2.5.1 Sistemas manuais e semiautomático	21
2.5.2 Sistemas semiautomáticos	22
2.5.3 Facilidade de uso.....	22
2.6 MÁQUINAS AUTOMÁTICAS <i>PICK AND PLACE</i>	23
2.6.1 Precisão e repetição	23
2.6.2 Métodos de centragem <i>pick and place</i>	24
2.7 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DE COMPONENTES	26
2.8 CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA	28
3.1 MÉTODOS DE ESTUDO.....	29
3.2 A METODOLOGIA PDCA	29
4 ANÁLISES E RESULTADOS	31
4.1 APLICAÇÃO DO PDCA.....	31
4.2 PROGRAMAÇÃO DAS MÁQUINAS DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA	32
4.3 ADAPTAÇÃO DE <i>LAYOUT</i>	33
4.4 RESULTADOS	34
4.5 ANÁLISE E SUGESTÃO DE MELHORIA	34
4.6 CAPACIDADE PRODUTIVA RESULTANTE.....	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
5.1 PROPOSTA PARA TRABALHO FUTUROS	37

7 REFERÊNCIAS.....	39
---------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata de ações de melhoria no processo para atender ao aumento da demanda por meio de avaliações de parâmetros produtivos na empresa objeto de estudo, que atua no ramo de fabricação de placas eletrônicas para televisões (TV's).

Com o estudo do plano de produção, constatou-se a possibilidade de melhoria da capacidade produtiva na empresa, mais especificamente na linha de produção de placas para TVs de 32", na qual a capacidade de produção atual não atende a alta demanda exigida pelo mercado consumidor, porém devido à ausência de parte de um processo otimizado para esse produto, investigou-se possíveis modificações e adaptações para uma máquina de inserção automática com estudos para redução de tempo no processo direcionados pela empresa e adaptação, que será vista como uma forma de ampliar a capacidade produtiva das linhas produtivas.

O equipamento utilizado para montagem das placas eletrônicas apresenta dificuldade para produção em massa devido a não atender a taxa de produção necessária de demanda. Sendo assim, surge a seguinte pergunta-problema: quais as melhorias necessárias no processo de montagem para absorver a melhor otimização na produção destas placas?

A partir deste questionamento, foram levantadas hipóteses para atender a problemática do tema, sendo elas: a análise de parâmetros funcionais, estrutura física, condições de fabricação e especificações do equipamento. Importante se faz mencionar que se realizaram estudos para compatibilidade do equipamento, por meio de dispositivos e programação, além de avaliação de mão de obra necessária e disposição de *layout* – que é um modo de distribuição ou arranjo dos elementos gráficos num determinado espaço ou superfície, para então absorver o processo de produção das placas.

Desta forma, o presente trabalho tem como base, a realização de um estudo sobre a adaptação de uma produção para aplicar os processos de uma linha de *Surface Mount Technology (SMT)* na empresa objeto de estudo, além de explanar a necessidade de ampliar a capacidade produtiva na empresa, tendo em vista que a linha está com capacidade subdimensionada em razão do fluxo produtivo atual. Vale salientar que a empresa necessita atender uma demanda de produção, que hoje não é suprida pela capacidade da linha, o que afeta o tempo necessário para o processo e capacidade de produção placas produzidas, sendo estes, os principais motivadores desse trabalho.

Diante do exposto, o objetivo geral do trabalho é realizar um estudo sobre a compatibilidade de um equipamento, apresentando o processo de produção de placas na

empresa objeto de estudo, buscando propor soluções para o problema levantado e, assim, contribuir para corrigir o déficit de capacidade existente.

Desse objetivo geral, decorrem quatro objetivos específicos, quais sejam:

Primeiro: Estudar o funcionamento de uma máquina de inserção automática;

Segundo: Aplicar metodologia *Plan, Do, Check, Action* - PDCA;

Terceiro: Definir melhor *layout* para o processo produtivo com melhor otimização;

Quarto: Apresentar uma possível melhoria alcançável a partir de estudos de produção;

Como metodologia para atingir os objetivos, recorreu-se, primeiramente, à pesquisa bibliográfica, que buscou subsídios em livros, artigos e outros materiais disponíveis que sustentassem teoricamente a temática proposta. Em seguida, utilizou-se a pesquisa ação para que o estudo pudesse ser mais bem apresentado e explanado.

Os resultados apresentam os parâmetros necessários para a realização do estudo para que sejam benéficos tanto para a empresa objeto de estudo quanto para demonstração dos conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Mecânica, sendo aplicados de forma eficiente na área de atuação.

Esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é a própria introdução, na qual é apresentado o tema de estudo do trabalho, bem como a problemática que envolve o estudo, as hipóteses levantadas para a solução da problemática citada e os objetivos gerais e específicos formulados para esse estudo.

O segundo capítulo trata-se do referencial teórico que é composto de todas as ideias teóricas que darão suporte às discussões apresentadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

O terceiro capítulo trata da metodologia aplicada para o desenvolvimento do tema, apresentando todos os procedimentos metodológicos seguidos ao longo do estudo.

O quarto capítulo refere-se à análise dos resultados, onde mostra-se as considerações e observações obtidas após a realização do estudo. Por fim, o quinto capítulo, referente às considerações finais, para mostrar se os objetivos determinados para esse tema foram alcançados, bem como sugestões para novos trabalhos no futuro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Inicialmente para realizar o estudo da presente monografia, se faz necessário compreender alguns conceitos pertinentes ao tema abordado, de modo a ampliar a capacidade de compreensão, entendimento e conhecimento sobre os assuntos que circundam o presente trabalho de conclusão de curso.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPONENTES SMD

Os *Surface Mounting Devices* (SMD) são componentes eletrônicos anexados a placas de circuito impresso durante o processo de montagem do processo SMT. Independentemente das diferenças de tamanho e forma, os componentes SMD são classificados regularmente com base em suas funções eletrônicas.

2.1.1 Componentes SMD passivos - Capacitores e Resistores

Os SMDs passivos (Figura 1) são componentes elétricos usados para ajustar a tensão e a amperagem da corrente elétrica. Naturalmente, os capacitores e resistores são os principais componentes deste grupo. Outros componentes que apresentam uma parte menor são cristais e bobinas, e devido a requisitos específicos, muitas vezes são feitos sob medida. Portanto, não existem padrões amplamente utilizados quanto à sua fabricação. Por outro lado, os resistores e capacitores são fabricados de forma padronizada. Os requisitos de tamanho da placa de circuito impresso (PCI) estão ficando menores enquanto a densidade do posicionamento dos componentes na placa única aumenta. Atualmente, os tamanhos maiores são raramente utilizados devido à sua estrutura robusta e à ocupação de grandes espaços de tabuleiro (SARMENTO, 2019).

Figura 1: SMD passivo.



Fonte: Istock (2020).

Sarmento (2019) destaca ainda que os resistores são divididos em dois grupos distintos com base em sua montagem. Os resistores de chip são feitos de vários materiais para atingir a resistência projetada. Em contraste, os resistores de rede são construídos com vários resistores da mesma resistência conectados em série para dividir a tensão adequadamente. Ambos os tipos de resistores são rotulados com três dígitos. Os três dígitos são impressos no corpo do resistor para indicar o valor da resistência.

As principais funções dos capacitores são armazenar e liberar energia elétrica correspondente à sua capacitância. Existem vários tipos de capacitores, como eletrolítico, mica, papel, filme, não polarizado e cerâmico. Ainda assim, o capacitor mais utilizado na montagem SMD é um capacitor cerâmico multicamada (MLCC). É um capacitor dielétrico feito de materiais cerâmicos específicos com excelente resposta de frequência, alta precisão e alta resistência térmica que permite sua longa vida útil. Outra característica desejável dos capacitores multicamadas cerâmicas é sua pequena capacitância regularmente na faixa de 1F a 1 μ F, o que é adequado para fabricação de *Printed Circuit Board* (PCB). (TSUDA, 2015).

COG (NP0) é um material cerâmico classe I composto de neodímio, samário e outros óxidos ferroelétricos. Sua capacitância é incrivelmente estável com um erro absoluto máximo de 0,3% na faixa de -55°C a +125°C. Além disso, sua mudança de capacitância específica ao longo da vida é inferior a 0,1%, o que é mais de cinco vezes menor do que a maioria dos outros tipos de capacitores. Portanto, a alta precisão ao longo da vida útil, geralmente de até 20 anos, torna este capacitor ideal para montagem de PCB. (SARMENTO, 2019).

2.1.1.1 Diodos e transistores

Ambos os diodos e transistores (Figura 2) são semicondutores contidos na embalagem plástica. Eles são conectados à placa de circuito impresso por meio de pequenos cabos montados na embalagem.

Figura 2: Diodos e transistores.



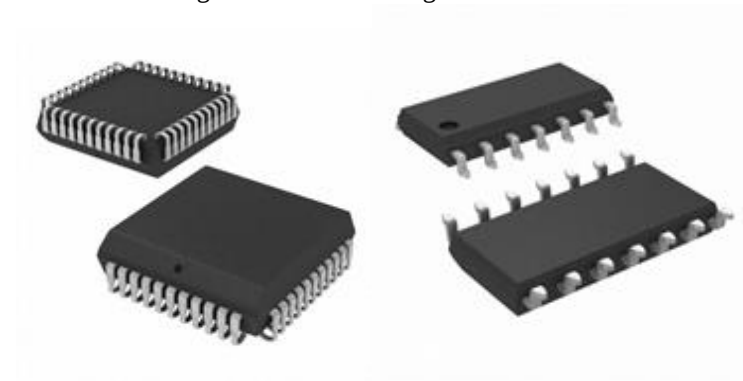
Fonte: Direct Industry (2022).

Os fios estão em contato direto com a pasta de solda posicionada em locais específicos sobre placas de circuito impresso, permitindo a ligação firme e estável. O objetivo do transistor é amplificar ou comutar sinais eletrônicos. Essa função é habilitada com a ajuda de três terminais: coletor, emissor e base conectados à placa de circuito. A junção do emissor é polarizada direta e possui uma pequena resistência, enquanto a junção coletora está na polarização reversa e possui alta resistência. Por outro lado, o diodo é um dispositivo de dois terminais que permite que a corrente flua apenas em uma direção. Portanto, o fluxo de eletricidade dentro do circuito ocorre somente quando o diodo é polarizado direto. A polarização direta significa que o material do tipo P está conectado ao terminal positivo da bateria, enquanto o material do tipo N está conectado ao terminal negativo da bateria. Portanto, a orientação apropriada dos diodos durante a fase de *pick and place* é essencial para alcançar a Montagem SMD (SARMENTO, 2019; TSUDA, 2015).

2.1.1.2 Circuitos integrados (CI)

Quase todas as placas de circuito impresso contêm pelo menos um circuito integrado (Figura 3). Sua inclusão no processo de montagem SMT é praticamente obrigatória devido às inúmeras funções que podem desempenhar, como amplificador, microprocessador, oscilador e temporizador. Suas vantagens marcantes são seu tamanho nominal compatível com o design da placa de circuito impresso e a capacidade de executar tarefas bastante complexas simultaneamente. Eles são fabricados na forma de chips usando equipamentos especiais onde dezenas de transistores, capacitores e resistores são embalados dentro do invólucro de silicone (VIEIRA JÚNIOR; REIS, 2017).

Figura 3: Circuitos integrados.



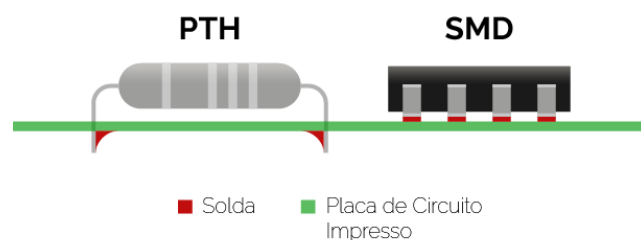
Fonte: Tmgeletronica (2022).

Como podem realizar tarefas complexas como cálculos e armazenamento de dados usando tecnologia digital ou analógica, os microprocessadores são o coração das placas de circuito impresso. A tecnologia digital pode ser encontrada em PCs, equipamentos de rede e na maioria dos eletrônicos de consumo, enquanto a tecnologia analógica é usada na amplificação de frequência de rádio e áudio. A principal diferença entre esses dois é a maneira como eles percebem e processam os sinais eletrônicos recebidos. Os CIs digitais usam portas lógicas cujas saídas são valores de uns e zeros. Há um limite em termos de amplitude do sinal recebido abaixo do qual a saída é zero, enquanto os sinais mais fortes resultam no valor de um. O limite é programado e especificado para cada porta no circuito integrado pelo engenheiro. Por outro lado, CIs analógicos recebem sinais que eles continuamente convertem em saídas programadas usando funções lineares. Os circuitos integrados também são classificados com base no número de transistores dentro do chip (BLAS, 2018).

2.2 MONTAGEM SMT VERSUS MONTAGEM EM ORIFÍCIO

A montagem por meio de orifícios (Figura 4) é considerada uma forma tradicional de montagem de componentes eletrônicos e apresenta inúmeras desvantagens. Os orifícios são perfurados nas camadas mais profundas das placas de circuito impresso para permitir a conexão do circuito elétrico com os componentes montados. Assim, todos os componentes eletrônicos devem possuir fios com diâmetro que se encaixem perfeitamente no furo. O problema que surgiu com a montagem do furo passante é a força insuficiente da ligação que segura o fio no furo. Outros problemas surgiram devido à necessidade de colocação manual de cada componente eletrônico na placa quando os rendimentos de produção necessários atingiam centenas de milhares de PCBs. Como resultado, esta técnica não pôde seguir os requisitos modernos de hiperprodução, por isso houve a necessidade de sua substituição permanente (CAO et al, 2019; VASCONCELOS, 2021).

Figura 4: Orifícios.



Fonte: Falcon Eletrônica (2020).

Muitas indústrias utilizam exclusivamente a montagem SMD usando tecnologia de montagem em superfície completamente automatizada que mostrou domínio absoluto sobre a montagem tradicional de furos passantes. Ao contrário da montagem convencional, a tecnologia de montagem em superfície utiliza pinos presos às placas de circuito impresso, soldando-as nas almofadas. Como resultado, quase todos os componentes SMD são montados automaticamente usando uma máquina de coleta e colocação, com alguns grupos menores que podem exigir manuseio manual. As equipes costumam sugerir soluções flexíveis durante a fase de projeto para que todos os componentes possam ser montados automaticamente. Dessa forma, a precisão de montagem é significativamente maior, enquanto os custos de produção são reduzidos para benefício mútuo do fabricante e do cliente (PARK et al., 2019).

A ascensão da tecnologia de montagem em superfície levou à necessidade de uma excelente resistência térmica para proteger os componentes eletrônicos de altas temperaturas durante a fase de soldagem. O resultado dessa necessidade, nas últimas décadas, é a invenção de inúmeros pacotes de polímeros isolantes que atuam como um invólucro de SMDs que contêm componentes eletrônicos em sua estrutura. Além disso, a estrutura adequada do capacitor foi frequentemente questionada, pois os capacitores de tântalo amplamente usados são inflamáveis sob temperaturas mais altas. Mesmo grandes isolantes não poderiam garantir completamente que o capacitor não pegaria fogo durante a fase de soldagem. Isso levou à invenção de vários tipos de capacitores resistentes ao calor, como eletrolíticos e cerâmicos amplamente utilizados na fabricação moderna de PCB (HE et al., 2021).

Além da facilidade de montagem e redução dos custos de fabricação do PCB, a montagem em superfície oferece alguns outros benefícios notáveis. Em primeiro lugar, o tamanho da placa necessária é muito menor porque os pacotes de montagem em superfície têm dimensões menores do que os pacotes de furos passantes. Consequentemente, a densidade de componentes dentro da placa é muito maior devido à capacidade de montar grandes quantidades de componentes em uma área pequena. Por fim, devido a um design específico, os pacotes de montagem em superfície são altamente estáveis. Portanto, eles não interferem nas ondas eletromagnéticas emitidas pelos dispositivos elétricos ao redor, o que não era o caso dos componentes passantes.

No entanto, devido ao aumento do número de dispositivos eletrônicos e o domínio de sua emissão eletromagnética de ano para ano, os pacotes de furos passantes estavam se tornando mais propensos à interação com ondas eletromagnéticas indesejadas do ambiente. As ondas indesejadas e suas frequências transmitem sinais que os componentes eletrônicos recebem e depois os processam em vez de processar os sinais programados, causando mau funcionamento

das PCBs. Este fenômeno pode ser bastante perigoso em aplicações automotivas de PCBA e indústria médica, que é outra razão pela qual a montagem através do furo teve que ser substituída (CAO et al., 2019; PARK et al., 2019).

2.3 ESCOLHA E COLOCAÇÃO DE COMPONENTES SMD

As almofadas nas placas de circuito impresso são cobertas com pasta de solda (Figura 5) e prontas para serem conectadas aos pinos do SMD. Agora, a montagem automatizada real dos componentes SMD na superfície da placa ocorre graças à máquina *pick and place* (TAN et al., 2021).

Figura 5: Almofadas nas placas de circuito impresso.



Fonte: Pinterest (2022).

A operação da máquina *pick and place* apresenta um núcleo do processo de montagem SMD. Em primeiro lugar, a máquina é fornecida com todos os componentes que vão ser montados. Devido aos requisitos para grandes rendimentos de produção em curtos períodos, milhares de SMDs são armazenados no domínio do braço robótico. Em seguida, a máquina reconhece o componente e suas especificações devido ao aprendizado de máquina implementado anteriormente. Os componentes são rotulados com códigos de barras para que o scanner possa identificar o pedido pelo software. O passo seguinte é pegar o SMD e colocá-lo precisamente em seu local designado na placa para que os pinos fiquem nas almofadas da placa. Um braço robótico executa a operação de pegar e colocar com uma cabeça em seu topo. A rotação do cabeçote é possibilitada por um movimento de articulação que permite a orientação espacial adequada dos componentes durante sua montagem a bordo (VERSTEGEN, 2019).

Figura 6: Máquina em funcionamento.



Fonte: O Próprio Autor (2022).

O movimento da cabeça é continuamente controlado pelo software especializado que extrai dados do arquivo Gerber. O arquivo Gerber contém todas as informações referentes ao desenho e posicionamento da placa de circuito impresso de cada componente eletrônico e suas especificações (LEONHARDT, 2019).

Ainda para Leonhardt (2019), a precisão durante o processo de montagem é um parâmetro essencial para uma montagem SMD bem-sucedida. Portanto, o sistema de alinhamento óptico deve utilizar os três pontos fiduciais para garantir o alinhamento adequado dos componentes em todos os três eixos. O alinhamento do eixo z vertical foi negligenciado no passado até que os engenheiros perceberam que a distribuição desigual do peso do componente na área projetada causa conexões elétricas soltas. Esse problema ocorre porque a pasta de solda não é reforçada nesta fase, e a imersão desigual de componentes na pasta deixa um desalinhamento permanente.

A máquina *Pick & Place* também pode inspecionar as propriedades elétricas especificadas de cada SMD enquanto o transporta. Os registradores de dados armazenam informações sobre essas medições e outras informações, como tempo de montagem, velocidade, erros de coleta, erros de montagem e uso do cabeçote. Todos os dados podem ser analisados em tempo real pelos operadores e após a conclusão do processo de montagem em superfície. A máquina de coleta e colocação também é capaz de realizar a garantia de qualidade de valor dos SMDs. Ou seja, os operadores especificam o erro permitido da propriedade elétrica de cada componente e, se o valor medido da propriedade em particular exceder o erro especificado, a máquina se livra desse componente. Dessa forma, garante-se que todos os componentes montados estejam perfeitos (TAN et al., 2021; VERSTEGEN, 2019).

2.3.1 Soldagem por refluxo

Após a montagem de todos os componentes eletrônicos na superfície do PCB, há a necessidade de sua ligação permanente com a placa. As ligações são formadas pela fusão e endurecimento da pasta de solda (VERSTEGEN, 2019).

A pasta de solda consiste em esferas metálicas dissolvidas no fluxo. O fluxo deve possuir características adesivas para manter os componentes SMD firmemente antes e durante a soldagem por refluxo. Por outro lado, as esferas de estanho-chumbo derretem durante o processo de soldagem, e a área fundida apresenta a conexão condutora entre as placas de PCB e os pinos dos SMDs.

De acordo com Verstegen (2019), as pastas de solda são classificadas em três grupos distintos com base em suas temperaturas de fusão. Os grupos são os seguintes:

1. Pastas de alta temperatura com ponto de fusão na faixa entre 217 e 227 graus Celsius;
2. Pastas de temperatura média com ponto de fusão entre 138 e 178 graus Celsius;
3. Pastas de baixa temperatura com pontos de fusão inferiores a 138 graus Celsius;

A soldagem por refluxo apresenta a técnica mais eficaz para soldar PCBs com muitos dispositivos montados em superfície. A soldagem por refluxo ocorre no forno de cura, onde o ar quente é usado para aquecer e derreter a pasta de solda. Antes do processo de soldagem, o forno de cura é aquecido a 100 graus Celsius. Em seguida, as placas são transferidas para o forno por meio de uma esteira transportadora. Assim que os PCBs chegam ao forno, o ar é aquecido gradualmente até uma temperatura definida, dependendo da temperatura de fusão da pasta de solda. As temperaturas normais do forno estão na faixa entre 250 e 480 graus Celsius. O processo de aquecimento dura pouco, até 2 minutos, durante o qual a pasta de solda

é completamente derretida. Na última seção do forno, o ar atmosférico resfria a solda derretida que finalmente endurece, o que significa que o processo de montagem do SMD terminou (CAO et al., 2019).

2.4 DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA *PICK & PLACE*

Conforme salientam Tan et al. (2021), as máquinas de pegar e colocar de mesa, especialmente nos primeiros anos, eram realmente inúteis. Mas nos últimos anos, as máquinas *pick and place* também vêm se desenvolvendo dia a dia e fizeram progressos consideráveis .

As características de desempenho da máquina *PICK & PLACE* são, conforme salienta Verstegen (2019):

(1) Visão dupla de alta definição, um par de cabeças de posicionamento de alta precisão e rotação arbitrária de 360°, que pode alcançar a escolha e o posicionamento da maioria dos componentes.

(2) A vibração recém-adicionada e o método de alimentação aprimorado de materiais tubulares podem atender à escolha e colocação simultâneas de 5 materiais tubulares diferentes.

(3) Há descascamento elétrico de nylon da máquina. O torque de alimentação de cada alimentador pode ser ajustado separadamente e os requisitos personalizados de coleta e colocação de cada componente podem ser atendidos. Além disso, aumenta a alimentação na parte traseira da máquina. Graças aos fatores acima, os tipos de *pick and place* são bastante aumentados. Com um pequeno volume, pode obter ótimo desempenho.

(4) O tanque principal de grau de controle industrial integrado é desenvolvido e projetado independentemente de acordo com o padrão de nível industrial, que é mais estável em operação; a exibição do código de falha é clara de relance e a manutenção é conveniente. VERSTEGEN (2019)

Ainda de acordo com Verstegen (2019), as vantagens da máquina são:

(1) Com um cabeçote de coleta e colocação de alta velocidade de 6 eixos, pode melhorar a eficiência da produção e garantir a produção e a precisão de uma variedade de componentes.

(2) A máquina adota uma tecnologia de reconhecimento de centralização de voo digital rápida dentro da faixa para obter o reconhecimento de alta velocidade de componentes CHIP.

(3) Adota o sistema de acionamento servo japonês, que aumenta muito a velocidade, garantindo forte estabilidade.

(4) A máquina possui componentes de cabeça leves dentro da faixa, e o peso total da cabeça está dentro de 5 kg, o que reduz muito o desgaste e prolonga a vida útil da máquina. Verstegen (2019)

2.5 MATERIAIS UTILIZADOS PARA SELEÇÃO DE UMA MÁQUINA *PICK AND PLACE*

Uma máquina *Pick and Place* é a segunda etapa de uma operação de montagem de colar, colocar e refluir. A função “Colocar” segue a função “pasta de solda” (impressora de estêncil). A operação 'place' seleciona e entrega um componente sobre a placa e o coloca na posição. A forma mais simples de operação de pegar e colocar é a mão, ou seja, retirar manualmente um componente de uma lixeira e, com o auxílio de uma pinça e uma lupa, posicioná-lo no quadro e completar a operação com uma mão (NEJAMEN, 2015).

Conforme o mesmo autor, este método funciona bem se o operador estiver apenas fazendo pranchas ocasionais. Outras coisas a considerar – o tamanho dos componentes (grandes ou pequenos) – afetam o tempo necessário para colocar e soldar manualmente. Componentes de passo fino são outro problema, onde mais precisão e exatidão são necessárias, e o fator humano entra em jogo. O trabalho torna-se então mais tedioso e demorado.

2.5.1 Sistemas manuais e semiautomático

Segundo Costa (2012), um sistema de coleta e colocação manual é desejável para operações pequenas e em crescimento que precisam aumentar seus volumes de produção manual de forma incremental e ao mesmo tempo melhorar a qualidade, reduzindo assim o retrabalho ou rejeições; no entanto, a precisão do posicionamento ainda é limitada pela capacidade do operador. Os benefícios de um sistema manual assistido por máquina incluem:

- Menos fadiga do operador;
- Menos erros de posicionamento;
- Melhor controle;
- Melhor rendimento, menos retrabalho;

Um sistema manual assistido por máquina pode ser equipado com recursos como uma mesa indexadora XY com cabeça de coleta a vácuo ou caneta; fixação ergonômica para ajudar a aliviar a fadiga do operador; e fixação adicional para posicionamento θ (rotação) e Z (altura) além de X e Y (CORTÉS et al., 2013).

Nejamen (2015) aponta que algumas máquinas oferecem um dispensador de pasta de solda líquida opcional, que é aplicado logo antes de colocar o componente na placa se uma impressora de estêncil não tiver sido usada. As opções adicionais incluem:

- Bandejas de Manuseio de Componentes;
- Dispensador de Líquido;
- Alimentadores de fita;
- Alimentadores;
- Opção de assistência à visão;
- Suportes opcionais;

Na maioria dos casos, os sistemas manuais assistidos por máquina podem ser adquiridos apenas com as necessidades básicas, e as opções desejáveis podem ser adicionadas posteriormente, conforme necessário.

2.5.2 Sistemas semiautomáticos

Nejamen (2015) menciona que existem muito poucas máquinas semiautomáticas ainda sendo fabricadas devido à crescente acessibilidade de alguns dos sistemas mais automatizados do mercado. Eles foram originalmente introduzidos em um momento em que o salto de sistemas manuais para sistemas totalmente automáticos era muito caro e foram disponibilizados com alguns recursos para auxiliar a operação manual.

Mais corretamente chamadas de sistemas “manuais aprimorados”, as máquinas de coleta e colocação semiautomáticas geralmente incluem uma interface de computador com um sistema de visão que mostra para onde os componentes vão, mas a colocação em si ainda é feita manualmente. Este tipo de máquina ajuda o operador a posicionar componentes de passo ultrafino com mais precisão para aplicações de baixo volume, uma operação que é muito difícil de realizar usando uma máquina manual simples assistida por máquina (CORTÉS et al., 2013).

2.5.3 Facilidade de uso

A maioria das máquinas de coleta e colocação lida com uma ampla variedade de tamanhos de tábuas, com uma mesa de trabalho projetada para acomodar tábuas de até 16” x 24”. Há também facilidade de controle sobre os componentes, o que ajuda na precisão, juntamente com uma curva de aprendizado simples. Na maioria dos casos, nenhum treinamento é necessário (CORTÉS et al., 2013).

2.6 MÁQUINAS AUTOMÁTICAS *PICK AND PLACE*

Esta seção apresenta dois aspectos da capacidade da máquina – precisão e repetibilidade, e métodos de centralização *Pick and Place*.

2.6.1 Precisão e repetição

Segundo Nejamen (2015), para máquinas de produção, normalmente recomenda-se procurar uma máquina com precisão de $\pm 0,001''$ e capacidade de passo fino de 12 mil repetidamente. Máquinas mais baratas geralmente não atendem a essa especificação, então é algo que se deve estar ciente.

A maioria das máquinas de baixo custo também não vem de fábrica com um computador ou software que possa ajudar nos aspectos de repetibilidade, se não na precisão. Enquanto alguns podem oferecer tecnologia aprimorada - a maioria não, conforme ilustra a Figura 8.



Fonte: Idblog (2019).

- o primeiro alvo possui acurácia porque todos os acertos estão no lugar (valor) que se deseja obter e possui precisão por eles estarem concentrados (ou seja, há pouca diferença entre os valores);
- o segundo alvo possui acurácia porque os acertos aconteceram perto do centro, ainda que não exatamente dentro dele, mas não possui precisão porque eles estão bastante separados uns dos outros;
- o terceiro alvo não possui acurácia porque os acertos aconteceram longe do centro, mas tem precisão por eles estarem concentrados;
- o quarto alvo, em que os acertos aconteceram longe do centro e estão espalhados de maneira distante entre si, não possui nem acurácia nem precisão.

2.6.2 Métodos de centragem *pick and place*

Costa (2012) afirma que existem quatro métodos para coleta e colocação:

- Sem mecanismo de centralização;
- Centralização a laser;
- Mecânico;
- Centralização da visão;

1. Método 1: Nenhum mecanismo de centralização além de confiar no ponto de coleta do componente para colocação. Em outras palavras, a peça não está fisicamente centralizada depois de ser pega pelo cabeçote da ferramenta e, se for retirada do centro da ferramenta, ficará descentralizada quando colocada na placa. Obviamente, este não é um método de posicionamento muito preciso porque não há tolerância definível. Pode-se esperar encontrar esse método usado por amadores ou instrutores, mas certamente não em qualquer tipo de ambiente de produção de precisão. Também não há muitas opções disponíveis e a confiabilidade a longo prazo é questionável.

- Prós: Baixo custo.
- Contras: Baixa precisão, repetibilidade e confiabilidade a longo prazo, sem opções ou peças de reposição.
- Faixa de tamanho: Sem tolerâncias definíveis

2. Método 2: Mordentes ou dedos de centragem mecânica. Neste método, o componente é recolhido e movido para a sua posição central nos eixos X e Y na cabeça do *pick-up*. Normalmente, esse método é fácil de configurar e pode ser repetido com precisão de $\pm 0.001''$. Esse método de centralização geralmente é encontrado em máquinas de baixo a médio alcance.

- Prós: Fácil de aprender e configurar; repetível; um dos métodos mais rápidos atualmente disponíveis; um verdadeiro sistema “*on-the-fly*”; baixo custo.
- Contras: Toca fisicamente o componente o que pode não ser apropriado para certos tipos de peças, especialmente aquelas com fios delicados.
- Faixa de tamanho: 0201 embalagens até 35 mm quadrados.

3. Método 3: Centragem a laser. Neste método, o componente é recolhido em linha com um feixe de laser que detecta a posição central do componente no cabeçote e recalcula o ponto zero da peça de acordo com sua posição nos eixos X, Y e posição rotacional em relação à cabeça para um posicionamento preciso na placa.

- Prós: Sem toque; *on-the-fly* (semelhante ao método mecânico).

- **Contras:** É menos confiável. Existem limitações nos tipos de peças que ele pode manipular, como componentes muito finos (se 0,050 finos, eles podem precisar ser redefinidos devido a variações de peças, mesmo do mesmo fornecedor); requer maior tempo de setup, pois o eixo Z (espessura da peça) deve ser definido; mais caro que a centralização mecânica, mas quase o mesmo que a visão.
- **Faixa de tamanho:** não pode centralizar peças abaixo de embalagens 0402 ou maiores que 35 mm quadrados.

4. Método 4: Centralização da visão. Aqui, existem dois tipos, *Look-Down* e *Look-Up*. A visão de olhar para baixo visualizará a parte superior do componente antes de pegá-lo para seu local de coleta. Em seguida, calcula seu centro, compara-o com seu arquivo de imagem do banco de dados armazenado, depois pega o componente e o transporta para sua posição na placa.

- **Prós:** Centralização verdadeira sem toque; pode lidar com componentes delicados e de formato estranho; O posicionamento do *Look-Down Vision Centering* é preciso para +/- .004”.
- **Contras:** Normalmente, tempos de configuração mais longos devido à necessidade de ensinar ao sistema de visão como identificar imagens de peças que são armazenadas no banco de dados da máquina; um método de centragem mais lento devido à fatia de tempo necessária para o processamento; A visão é mais cara que o método mecânico; para a visão *Look-Down*, a peça pode se mover de seu ponto de coleta para sua colocação no tabuleiro.
- **Faixa de tamanho:** 0402 – 15 mm

O método *Look-Up Vision* é o método de centralização mais preciso disponível. O componente é primeiro retirado da área de coleta, movido para uma estação de câmera que observa a parte inferior do componente e calcula sua posição central.

- **Prós:** Centralização sem toque verdadeiro, lida com componentes delicados; precisão de até +/- 0,001" capacidade de posicionamento
- **Contras:** Normalmente, maior tempo de *setup* devido à necessidade de ensinar o sistema de visão a identificar a imagem, armazenada no banco de dados da máquina (Figura 9); um método de centragem mais lento devido ao tempo de processamento; A visão é mais cara do que o método mecânico.
- **Faixa de tamanho:** 01005 – 50 mm (pode ver menor e mais detalhes).

- Posicionamento sem sistema de *feedback* (sistema de malha aberta)
- Posicionamento com encoders rotativos (sistema de malha fechada)
- Posicionamento com encoders lineares (sistema de malha fechada)

Método 1: Sem loop de realimentação de posicionamento. Neste sistema, o motor aciona a peça para um local na placa definido no programa pelo número de passos em cada eixo XY, mas não há como saber se ela realmente acaba na posição correta. Lugar, colocar. Esses sistemas usam motores de passo para posicionamento.

- Prós: Baixo custo
- Contras: Precisão não confiável; não recomendado para produção de alta qualidade

Método 2: Posicionamento com encoder rotativo. Neste método, um encoder é montado diretamente no eixo do motor e fornece *feedback* de posição ao sistema de controle; no entanto, informa apenas a posição do motor e não a posição real do eixo xy. Isso depende do restante dos componentes mecânicos que compõem a máquina. Essas máquinas podem usar motores de passo ou servomotores.

- Prós: Baixo custo; este sistema é amplamente utilizado em máquinas de nível básico
- Contras: Precisão de posicionamento típica de $\pm 0,005''$

Método 3: Posicionamento com encoder linear. Neste método, escalas lineares são montadas na mesa de eixos XY da máquina e um encoder é montado na viga móvel que transportará os componentes. Este método reportará sua posição real de volta ao sistema de controle e fará correções na posição programada, se necessário, dentro de alguns microns da localização real de X e Y para a colocação do componente (que normalmente é de 12.800 incrementos - ou etapas - para cada polegada de deslocamento). As melhores máquinas desta categoria utilizam servo motores.

- Prós: Precisão muito alta, dentro de $\pm 0,0005''$; muito repetível
- Contras: Mais caro, mas necessário para produção de alto valor.

2.8 CONSTRUÇÃO DA MÁQUINA

Cortés et al. (2013) destaca que, ao selecionar uma máquina *pick-and-place*, deve-se estar ciente de que sua construção determinará seu alcance e área de cobertura CPH eficaz, incluindo considerações sobre o número de alimentadores de componentes que ela pode acomodar.

1. Aço totalmente soldado: A máquina mais precisa terá uma estrutura construída de tubo de aço estrutural soldado sólido. Isso fornece estabilidade significativa necessária para posicionamento preciso e movimento de alta velocidade dos eixos X e Y. Este método de construção é recomendado para qualquer ambiente de produção e permanecerá estável sem exigir calibração contínua.

2. Estrutura parafusada: A estrutura de alumínio extrudado ou de chapa metálica formada virá com uma precisão inicial menor do que uma estrutura soldada e precisará funcionar mais lentamente porque não pode lidar com as rápidas mudanças de inércia do movimento do eixo X – Y. Além disso, provavelmente sairá de calibração com frequência, o que afetará negativamente o tempo de trabalho, o tempo de inatividade e o rendimento. (O custo mais baixo geralmente reflete uma construção mais fraca).

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Ao desenvolver o estudo em questão, percebeu-se a necessidade de aplicar métodos para desdobramento das atividades, com o objetivo de deixá-lo mais direto e enxuto possível.

Para atingir os objetivos propostos e testar as sugestões de melhoria, foram realizados testes de otimização do produto da empresa cliente e utilizados alguns métodos presentes na engenharia, como o *PDCA*.

3.1 MÉTODOS DE ESTUDO

O presente estudo definiu-se a pesquisa-ação como método, pelos seguintes motivos, como afirma David Tripp (2005): A pesquisa baseia-se em um processo de aprendizagem; é situacional, pois identifica um problema e busca relevância prática com os resultados; é auto avaliativa, já que as modificações são avaliadas a partir do monitoramento contínuo e *feedback*; os resultados possuem apenas relevância local, ou seja, não podem ser usados para generalizações.

3.2 A METODOLOGIA PDCA

A linha do processo Surface Mounting Technology (SMT) apresenta baixa capacidade produtiva, pelo fato de o fluxo produtivo estar incompleto, tendo a necessidade de um novo equipamento para ampliar a produção de placas e completar o fluxo produtivo.

Para chegar ao layout otimizado é necessária uma estratégia que tenha como objetivo ampliar a qualidade e eficiência de um processo produtivo. Para isso, foi utilizada a metodologia PDCA (Figura 10), também chamado de ciclo de Shewart ou ciclo de Deming, o modelo se tornou famoso nos anos cinquenta graças a este segundo – o estatístico e professor americano William Edwards Deming, considerado o pai do controle de qualidade nos processos produtivos.

Figura 9: Ciclo PDCA.



Fonte: Deming (1999).

- **PLAN – Planejar:** Neste primeiro passo para a aplicação, você deve elaborar um plano. Deve-se desenvolver uma estratégia que se proponha a resolver os problemas levantados.
- **DO – Fazer:** planejamento está pronto e bem detalhado? Hora de colocá-lo em prática. Esta é a etapa mais importante do ciclo e deve ser acompanhada bem de perto para que em nenhum momento se desvie do que foi planejado.
- **CHECK – Verificar:** O terceiro passo é a análise ou verificação dos resultados alcançados e dos dados coletados. Esta etapa pode se desenvolver tanto ao mesmo tempo em que o plano quando é elaborado – quando se verifica se o trabalho está sendo feito da forma devida – quanto após a execução, quando são feitas as análises estatísticas dos dados e a verificação de todos os itens. O principal objetivo desta fase é detectar eventuais erros ou falhas.
- **ADJUST – Ajustar, Corrigir:** a última fase. Nela, são tomadas as ações corretivas com base no que foi verificado. Ou seja, deve-se corrigir as falhas encontradas no passo anterior. Então, após realizada a investigação das causas destas falhas ou desvios no processo e após agir para solucioná-las.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo serão descritas as atividades que foram executadas durante o período de estudo, bem como as possibilidades para atingir os resultados esperados. Aqui estão os processos de implementação de melhoria e seus benefícios recebidos pela empresa.

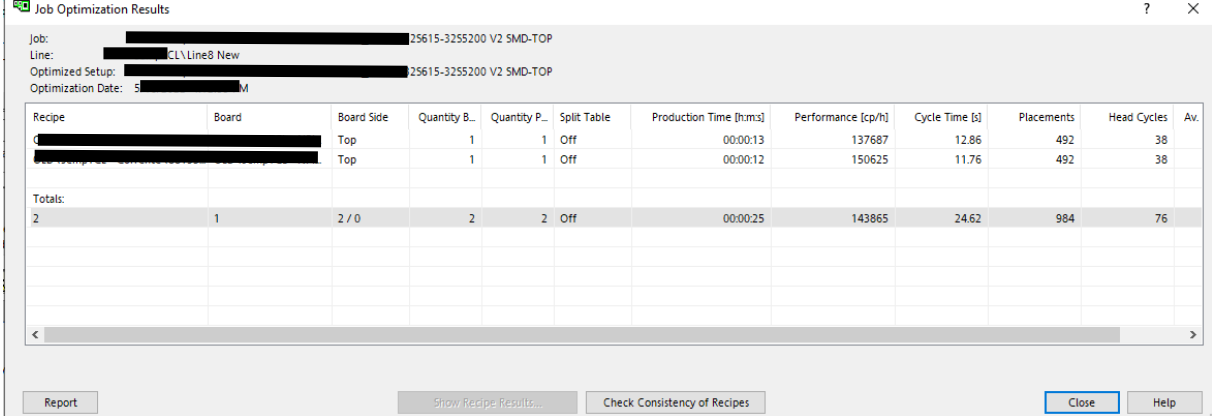
4.1 APLICAÇÃO DO PDCA

- **PLAN – Planejamento:** após verificar possíveis melhorias no processo produtivo, foi elaborado um projeto para implantação de uma linha totalmente nova, contendo: instalação das máquinas, otimização do produto na programação e treinamento dos operadores.
- **DO – O que foi feito:** foi aplicado o planejamento inicial para alavancar o número de placas produzidas. Após a instalação das máquinas no cliente, foi realizado o treinamento dos operadores e técnicos, para manutenção das máquinas e todo o time de engenharia para programação delas.
- **CHECK – Como foi verificado:** Foi feito acompanhamento durante um período de 2 semanas com suporte especializado, análise de erros e rejeitos foram tomados como índice de verificação, assim como manuseio dos operadores com a máquina. O índice principal que interessa ao estudo também foi acompanhado: quantidade de placas produzidas por hora e o ciclo de tempo de cada máquina.
- **ADJUST – Correções e sugestões de melhoria:** Nessa última fase, após as melhorias implementadas, observou-se possibilidade de aperfeiçoamento da ideia proposta. A sugestão seria de implementar uma configuração de altura, na penúltima máquina, em sua cabeça de montagem, deixando-a mais baixa, ou seja, mais próxima em altura, dos componentes. Isto deixaria o processo de montagem ainda mais rápido – vide gráficos a seguir.

4.2 PROGRAMAÇÃO DAS MÁQUINAS DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA

No quesito de programação foi necessário treinar o time de engenharia de processos da empresa em questão para que todos pudessem dominar o modo como as máquinas funcionam, além de explorar os benefícios de *software* que as novas máquinas possuem.

Figura 10: Processo de otimização no *software* de programação de máquinas.



Recipe	Board	Board Side	Quantity B.	Quantity P.	Split Table	Production Time [h:m:s]	Performance [cp/h]	Cycle Time [s]	Placements	Head Cycles	Av.
1		Top	1	1	Off	00:00:13	137687	12.86	492	38	
2		Top	1	1	Off	00:00:12	150625	11.76	492	38	
Totals:											
2	1	2 / 0	2	2	Off	00:00:25	143865	24.62	984	76	

Fonte: O Próprio Autor (2022).

A função mais desejada e inserida pelo time de engenharia foi o controle na troca de alimentação dos *feeders*. Com este recurso os operadores são obrigados a verificar, por meio de leituras de códigos de barras *barcodes* ou *qr codes*. As seguintes características são averiguadas: posição do componente no feeder, posição do feeder na máquina e quantidade de componentes utilizados pelo feeder na máquina, gerando relatório de quantidade atual de componentes restantes a serem utilizados.

Figura 11: Exemplo de código a ser lido pelo *scanner* antes da alimentação

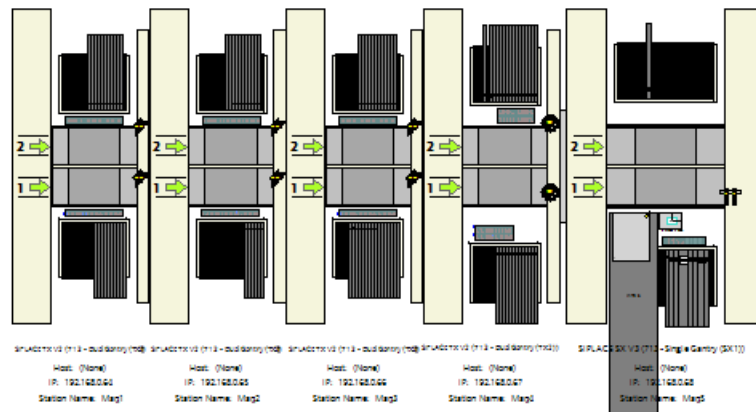


Fonte: O Próprio Autor (2022).

4.3 ADAPTAÇÃO DE *LAYOUT*

O novo *layout* partiu-se da necessidade de atender todos os componentes a serem montados nas placas eletrônicas e da importância de diminuir o tempo de montagem. A melhor configuração sugerida por meio deste estudo foi a seguinte: três máquinas com duas cabeças cada, sendo cada cabeça com 20 segmentos para coletar os componentes, uma máquina contendo duas cabeças com 12 segmentos e por fim, a última máquina preparada com uma cabeça para componentes maiores, com opção de alimentação por bandejas.

Figura 12: Layout de linha.



Fonte: O Próprio Autor (2022).

Figura 13: Máquina *pick and place*.



Fonte: O Próprio Autor (2022).

4.4 RESULTADOS

Após a implementação da nova linha de produção SMT, houve um aumento na quantidade final de placas eletrônicas produzidas, devido à diminuição de 9 segundos no tempo de montagem das placas. Esta alteração de tempo resultou em melhoria de produção, além d

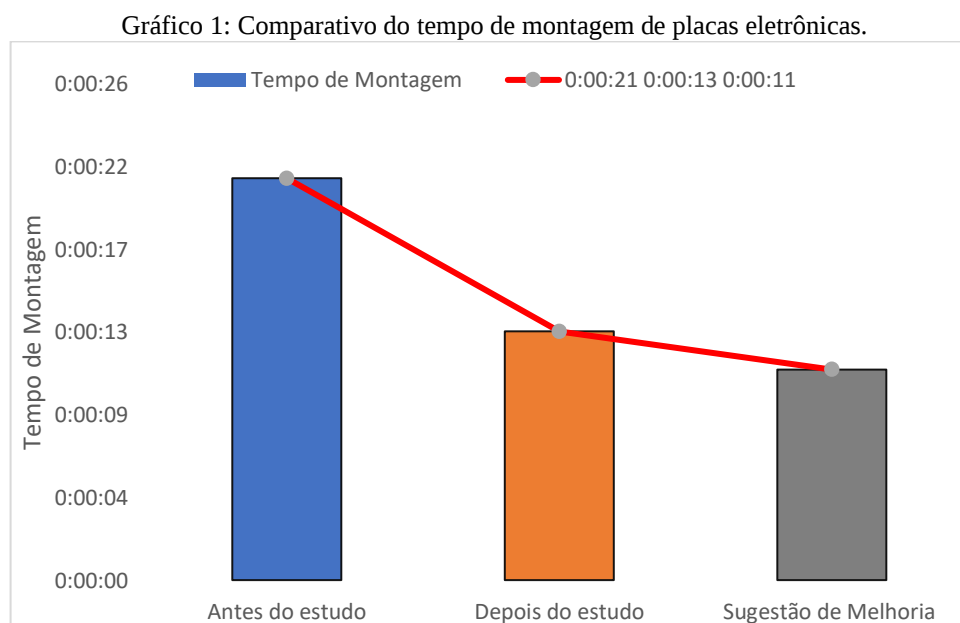
4.5 ANÁLISE E SUGESTÃO DE MELHORIA

Os resultados conseguidos por meio de estudo, com as configurações de máquinas citadas na adaptação de *layout* foram os seguintes:

- Diminuição no tempo de montagem;
- Aumento na quantidade de placas produzidas.

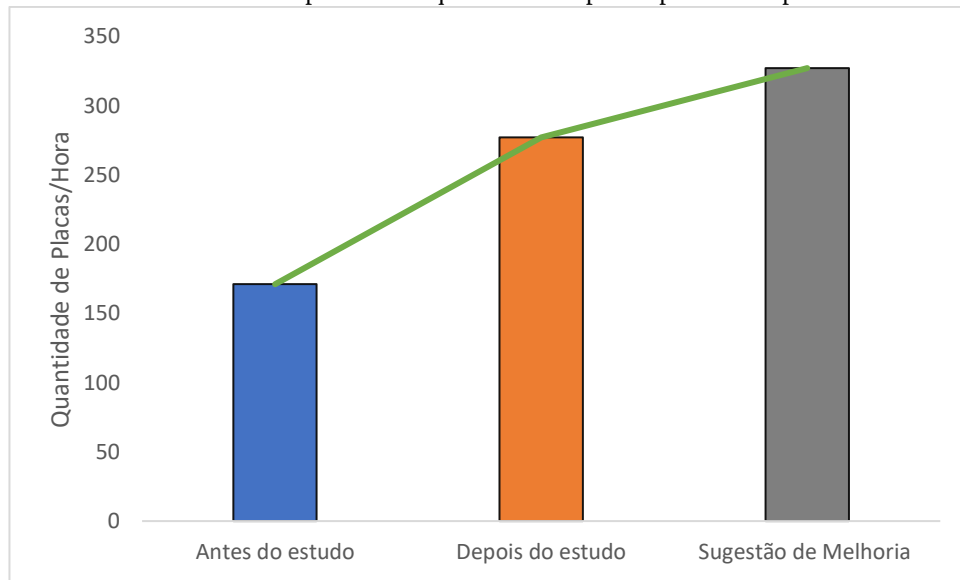
Como sugestão de melhoria pós-estudo, observou-se a possibilidade de fazer uma mudança na quarta máquina para aumento de produção: baixar a altura da cabeça, sendo confirmadamente possível de acordo com o fabricante. No novo *layout* a cabeça de montagem de componentes está configurada para *high*, ou seja, mais alta em relação à coleta de componentes. Para diminuir mais o tempo, caso fosse configurada para *low*, ou seja, baixa, teríamos mais vantagens a serem oferecidas no processo de produção das placas eletrônicas.

Os gráficos a seguir mostram de forma visual a melhoria alcançada e futura, com base na sugestão de mudança na altura da cabeça da quarta máquina:



Fonte: O Próprio Autor (2022).

Gráfico 2: Comparativo de quantidade de placas produzidas por hora.



Fonte: O Próprio Autor (2022).

Pode-se discutir os resultados apresentados comparando-os com os objetivos propostos no início do estudo. Dos objetivos específicos, obtivemos as seguintes respostas:

Primeiro: Estudar o funcionamento de uma máquina de inserção automática;

- O funcionamento da máquina foi explorado de forma didática, sendo conclusiva esta questão.

Segundo: Aplicar metodologia *Plan, Do, Check, Action* - PDCA;

- Foi possível aplicar a metodologia no decorrer da melhoria proposta;

Terceiro: Definir melhor *layout* para o processo produtivo com melhor otimização;

- O melhor *layout* só foi possível ser previsto após a chegada das máquinas na empresa de estudo. Durante a pesquisa este tópico não foi alcançado, porém sugerido para futura adição de melhoria.

Quarto: Apresentar uma possível melhoria alcançável a partir de estudos de produção;

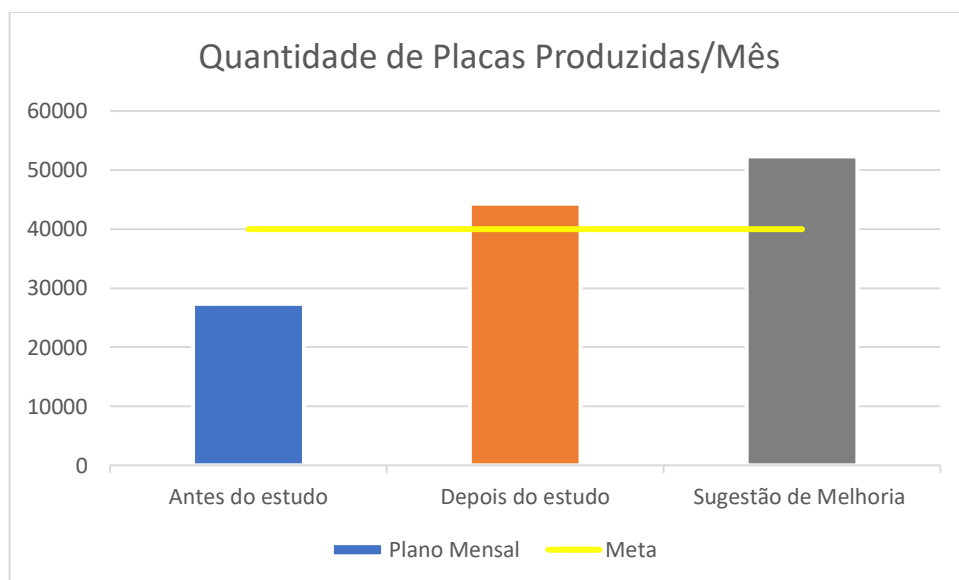
- A melhoria possível foi apresentada e adotada pela empresa.

4.6 CAPACIDADE PRODUTIVA RESULTANTE

O gráfico a seguir mostra a comparação mensal de placas nos três estágios de estudo: a produção antes da melhoria proposta, a produção após a melhoria já implantada e por último a produção caso o cliente conclua a melhoria de hipótese.

Nota-se que antes de realizar o estudo o total de placas eletrônicas de TV produzidas era por volta de 27.360 por mês. Com as máquinas novas e novo *layout* de linha de produção, a contagem subiu para um total de 44.320, praticamente um aumento de 80% mensal. Em cinza, novamente, caso a empresa adota-se a mudança física na altura da cabeça da penúltima máquina: 52.320 placas de TV.

Gráfico 3: Comparativo de quantidade de placas produzidas por mês.



Fonte: O Próprio Autor (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término do trabalho, é possível dizer que todos os objetivos foram plenamente atingidos pois, conforme elencado, conseguiu-se estudar o funcionamento de uma máquina de inserção automática, descritos no capítulo da fundamentação teórica; Para obtenção dos resultados, aplicou-se a metodologia Plan, Do, Check, Action - PDCA; De posse desses resultados, definiu-se melhor *layout* para o processo produtivo com melhor otimização e, por fim, foi possível apresentar uma possível melhoria alcançável a partir de estudos de produção;

O presente trabalho foi de grande aprendizado na parte do funcionamento das máquinas de inserção automática. As etapas de estudo juntamente ao ciclo *PDCA* permitiram resultados satisfatórios e atenderam o esperado, concluindo os quatro objetivos propostos para esse estudo. As modificações de *layout* e programação realizadas na empresa se mostraram muito eficientes visando ampliar a quantidade de placa eletrônicas produzidas.

A conclusão do estudo foi de tão grande satisfação que a empresa ampliará a produção das placas introduzindo mais uma linha idêntica ao que foi proposto no estudo, totalizando 2 linhas para montagem de placas eletrônicas de TV.

Sugere-se que mais estudos sejam realizados na área, uma vez que o conteúdo, especialmente em língua vernácula, ainda é escasso.

5.1 PROPOSTA PARA TRABALHO FUTUROS

Com base no trabalho apresentado é nítido a gama de possibilidades que uma linha de produção de SMT podem vir a serem disponibilizadas. Por isso cada contexto deve ser minimamente estudado e analisado: tipo de placas eletrônicas a serem montadas, níveis de qualidade, tempo de produção, quantidade e tipos de componentes etc. Todos esses são variáveis que devem ser consideradas para adicionar novas perspectivas.

Deixo como proposta de futuros trabalhos as avaliações das demais máquinas que compõem uma linha de produção SMT, a correção de possíveis posições dos componentes que podem compartilhar bocais de forma igualitária, bem como quantidade necessária de ar comprimido para todas as de inserção automática funcionarem em perfeito estado – isto na parte técnica.

Já pelo lado gerencial, podem-se ser adotados estudos de como facilitar o trabalho do técnico e do operador de linha, bem como gastos mensais para realização de manutenções preventivas e também os lucros gerados pela instalação de novas linhas de produção semelhantes.

7 REFERÊNCIAS

BLAS, E. A. Diseño y construcción de horno para soldadura SMD. **Trabajo de fin de carrera** (Engenharia de Automação). Universidad Politécnica de Madrid, 2018.

CAO, S. et al. Prediction of Component Shifts in Pick and Place Process of Surface Mount Technology Using Support Vector Regression. **Procedia Manufacturing**, v. 39, n. 1, p. 210–217, 2019.

CORTÉS, J. et al. Diseño óptimo dimensional de una máquina-robot de arquitectura paralela tipo delta para aplicaciones pick and place. **VI Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y IV de Ingeniería Mecatrónica**. IV Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente. Bogotá, 2013.

COSTA, P. Operação de Pick-and-Place Adaptativa em Ambientes Pouco Estruturados. **Dissertação** (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

GONZALEZ, MARIANA. O que é acurácia? Entenda o conceito e sua importância. **Idblog**, 2019. Disponível em: < <https://blog.idwall.co/o-que-e-acuracia/>>. Acesso em 3 de junho de 2022.

HE, J. et al. A novel placement method for mini-scale passive components in surface mount technology. **Research Square**, v. 9, p. 1-24, 2021.

LEONHARDT, P. Adaptação de impressora 3D para criação de placas de circuito impresso. **Trabalho de Conclusão de curso** (Engenharia Elétrica). Centro Universitário de Goiás – Uni-Anhanguera, 2019.

NEJAMEN, N. Diseño y fabricación de una máquina de ensamblaje Pick and Place. **Trabajo de fin de carrera** (Ingeniería Técnica Industrial). Universidad de La Laguna, 2015.

O que são SMD, PTH e quando usar cada um? **Falcon Industria Eletrônica**, 2020. Disponível em: < <https://falconeletronica.com.br/o-que-sao-ptb-smd-e-quando-usar-cada-um/>>. Acesso em 3 de junho de 2022.

PARK, J. et al. D3PointNet: Dual-Level Defect Detection PointNet for Solder Paste Printer in Surface Mount Technology. **IEEE Access**, v. 8, n. 1, p. 140310- 140322, 2020.

Resistor capacitor SMD PCB macro – Imagem em alta resolução. **IStock**, 2016. Disponível em <<https://www.istockphoto.com/br/foto/resistor-capacitor-smd-pcb-macro-gm540107142-96369815>>. Acesso em 2 de junho de 2022.

SARMENTO, D. M. Análise do processo de planejamento de necessidades, compras e estoque de componentes eletrônicos, utilizados para protótipos, pequenos e médios lotes de produção de placas eletrônicas: caso da empresa Produza S/A. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Produção). Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

TAN, K. et al. Integrating Vision System to a Pick and Place Cartesian Robot. **J. Phys.** v., 1, p. 1-8, 2107.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Action research: a methodological introduction**, Murdoch University, p. 443-466, 1 dez. 2005.

TSUDA, A. M. Desenvolvimento de sensores ativos para aquisição e processamento de sinais eletromiográficos. **Dissertação** (Mestrado em Automação e Controle de Processos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, 2015.

VASCONCELOS, C. W. Aplicação da ferramenta diagrama de ishikawa em um processo de SMT (Surface Mount Technology). **Trabalho de Conclusão de Curso** (Tecnólogo Eletrônico Industrial). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, 2021.

VERSTEGEN, P. **Mechatronic design for repeatability of a single-camera alignment system in pick-and-place machines**. Nederland: Proefschrift, 2019.

VIEIRA JÚNIOR, V.; REIS, F. APFC utilizando o conversor boost no MCC gerenciado por sistema microcontrolado. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Controle e Automação). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2017.

ANEXO 1

TERMO DE ACEITE DE ORIENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Docente (a) MARISOL ELIAS DE BARROS Plácido, Siape
nº 1431951, manifesto, por meio deste, minha participação como orientador do discente
MATHEUS SILVA E SILVA, matrícula
2016 001450, do Curso Superior de ENGENHARIA MECÂNICA,
comprometendo-me a acompanhar, analisar e orientar o referido discente nas etapas necessárias ao
desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso proposto.

Cidade - AM, 09 de MARÇO de 20 22

marisol E. de B. Plácido

Docente (a) Orientador (a)

Ciente em, 11 de maio de 20 22

Benjamin Protista de O. Neto

Coordenador (a) do Curso



TCC – ANEXO 2

TERMO DE COMPROMISSO DO ORIENTADO SOBRE AS NORMAS/REGULAMENTOS DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Matheus Silva e Silva, discente matriculado (a) no Curso Superior de Graduação *Lato Sensu* em Engenharia Mecânica, do Instituto Federal do Amazonas, *campus* Manaus – Centro, estou ciente e concordo com as normas/regulamentos instituídos para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Outrossim, declaro seguir tal regimento. Por estar plenamente de acordo firmo o presente.

Manaus – AM, 24 de Março de 2022.

Mathous Silva e Silva

Assinatura do (a) Discente



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS

ATA Nº 144 / 2022 - DPI/CMC (11.01.03.01.16.12)

Nº do Protocolo: 23443.012845/2022-58

Manaus-AM, 18 de Julho de 2022

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No dia doze do mês de julho de dois mil e vinte e dois, às 18:00 horas na Sala Virtual da Plataforma GOOGLE MEET, <https://meet.google.com/gss-icoc-bqt?hs=122&authuser=1>, o acadêmico **Matheus Silva e Silva**, apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora presidida pelo Profa. MSc. Marisol Elias de Barros Plácido (orientador), composta pelos demais examinadores Prof. Esp. Plácido Ferreira Lima (avaliador - IFAM) e Profa. M.Sc. Lucielen Nunes Barroso Nascimento (avaliador - IFAM). A sessão pública de defesa foi aberta pelo Presidente da Banca Examinadora, que fez a apresentação da mesma e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título: **ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT**. Na sequência, o acadêmico teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho, e em seguida, cada integrante da Banca Examinadora fez suas arguições. Ouvidas as explicações do acadêmico, os membros da Banca Examinadora, reunidos em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberaram por **aprovar** e atribuir à **nota 8.6** ao trabalho. Foi divulgado o resultado formalmente ao acadêmico e demais presentes, dando ciência ao mesmo que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o prazo máximo de 15 dias, com as devidas alterações sugeridas pela banca.

Nada mais a tratar, a sessão foi encerrada às **(18h 45min)**, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo acadêmico.

Prof. Orientador / Presidente: Profa. MSc. Marisol Elias de Barros Plácido

Prof. Membro 1: Prof. Esp. Plácido Ferreira Lima

Prof. Membro 2: Profa. M.Sc Lucielen Nunes Barroso Nascimento

Acadêmico: Matheus Silva e Silva

(Assinado digitalmente em 02/08/2022 16:56)
LUCIELEN NUNES BARROSO NASCIMENTO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
Matrícula: 3122415

(Assinado digitalmente em 18/07/2022 20:15)
MARISOL ELIAS DE BARROS PLACIDO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
Matrícula: 1431951

(Assinado digitalmente em 18/07/2022 16:26)
PLACIDO FERREIRA LIMA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
Matrícula: 981395

ano: **2022**, tipo: **ATA**, data de emissão: **18/07/2022** e o código de verificação: **3fe179e725**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CONSELHO SUPERIOR

1. Identificação do material bibliográfico:

- () Tese
() Dissertação
☒ TCC graduação
() TCC Especialização
() Produto resultante de tese
() Produto resultante de dissertações

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: MATHEUS SILVA E SILVA

Matricula: 2016001450

CPF: 033.338.202-18

Telefone fixo: _____

Telefone celular: (11) 9936-0981

E-mail: 2016001450@IFAM-EDU.BR

Título do trabalho:

ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT.

Título do produto:

ESTUDO E ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE INSERÇÃO AUTOMÁTICA NO PROCESSO SMT

Nome do orientador:

Profa. Mo. Marisol Elias Barros Plácido

Co-orientador: _____

Membros da Banca:

Prof. Esp. Plácido Ferreira Lima

Profe. M.Sc. Lucielen Nunes Barroso

2.1 Pós Graduação Stricto Sensu (Mestrado e Doutorado)

Programa: _____

Curso: _____

Área do Conhecimento: _____

Palavras-chave: _____

Data da defesa: ____/____/____

3. Pós-graduação Lato Sensu (especialização)

Curso de Pós-Graduação: _____

Área do Conhecimento: _____

Palavras-chave: _____

Data da defesa: ____/____/____

Modalidade: () presencial () à distância



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CONSELHO SUPERIOR

4. Graduação

Curso: BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA

Data da defesa: 12 / 07 / 2022

Área do Conhecimento: Tecnologia, Processo SMT

Palavras-chave: Capacidade produtiva, Máquina de injeção automática, SMT
Otimização de processo.

Modalidade: ☒ presencial () à distância

5. Agência (s) de fomento (se houver):

6. Licença de uso:

Na qualidade de titular dos direitos de autor do conteúdo supracitado, autorizo o Instituto Federal do Amazonas a disponibilizar a obra no Repositório Institucional gratuitamente, de acordo com a licença pública *Creative Commons* Licença 4.0 Internacional por mim declarada sob as seguintes condições.

Permite uso comercial de sua obra? ☒ Sim; () Não;

Permitir alterações em sua obra? () Sim; () Sim, desde que outros compartilhem pela mesma licença; ☒ Não.

A obra continua protegida por Direitos Autorais e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

7. Informação de acesso ao documento:

Liberação para publicação: ☒ Total () Parcial

A restrição (parcial ou total) poderá ser mantida por até um ano a partir da data de autorização da publicação. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à PROEN e PPGI. Em caso de publicação parcial, o embargo será de 12 meses. Especifique o (s) arquivo(s) capítulo(s) restritos:

Declaração de distribuição não-exclusiva

O referido autor:

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder ao Instituto Federal do Amazonas os direitos requeridos por esta licença e que esse material, cujos direitos são de terceiros, está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

c) Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o IFAM, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo contrato ou acordo.

Assinatura do Autor: Mathews Silva e Silva

Data: 08/05/2022