

Aplicação de Indústria 4.0 via Manufatura Aditiva: Modelagem de Elemento Final para Automatização de Processo de Etiquetagem

Rodrigo C. de Freitas* Miguel A. O. Postigo**
Leandro M. G. da Silva*** José Ricardo B. da Silva***
Guilherme Rodrigo dos S. Matos*** João Victor B. Soares***
Luana R. Gomes*** José R. Sicchar***

* Departamento de Licenciatura em Matemáticas, Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, AM, (e-mail: rcfreitas@uea.edu.br).

** Departamento de Engenharia Eletrônica e Elétrica, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, AM, (e-mail: mpostigo@uea.edu.br)

*** Departamento de Controle e Automação, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, AM, (e-mail: lmgds21@uea.edu.br, jrbd21@uea.edu.br, grsm.eai18@uea.edu.br, jvbs.eai19@uea.edu.br, lrg.eai19@uea.edu.br, jvilchez@uea.edu.br)

Abstract: Robotic manipulators are an interesting alternative for efficient and versatile automation for a variety of tasks, including PCB labeling. In this context its final element, composed of an actuator and a clamp, plays an intrinsic role in the accurate capture and manipulation of these components. This paper presents an additive manufacturing methodology for a pneumatic gripper development, encompassing mechanical force analysis, modeling, validation testing, and integration with a robotic arm. Additionally, the study will compare the performance of two commonly used materials, PLA and ABS, to determine their suitability for gripper construction. As a result of this implementation was improved significantly the efficiency of the labeling process, reduced production time and increased precision in component manipulation.

Resumo: Os manipuladores robóticos conformam uma alternativa de automação eficiente e versátil para uma variedade de tarefas, incluindo a etiquetagem de PCBs. Nesse contexto, o seu elemento final composto por um atuador e uma pinça, desempenha um papel intrínseco na captura e manipulação precisa desses componentes. Este artigo apresenta uma metodologia de manufatura aditiva para o desenvolvimento de uma garra pneumática, incluindo análise de esforços mecânicos, modelagem, testes de validação e integração com um braço robótico. Além disso, o estudo irá comparar o desempenho de dois materiais comumente utilizados, PLA e ABS, para determinar sua adequação na construção da garra. Como resultado dessa implementação se aprimorou significativamente a eficiência do processo de etiquetagem, reduzindo-se o tempo de produção e aumentando-se a precisão na manipulação dos componentes.

Keywords: Additive Manufacturing; Manipulator Robot; Labeling; Pneumatic Gripper; Mechanical Forces.

Palavras-chaves: Manufatura Aditiva; Robô Manipulador; Etiquetagem; Garra Pneumática; Esforços Mecânicos.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a manufatura aditiva (AM, do inglês *Additive Manufacturing*) tem tido um grande crescimento, e amplamente aplicada em diversos setores, entre eles os processos industriais. Com o seu rápido avanço surgiram várias alternativas como a impressão 3D, fabricação de formas livres, produção e manufatura rápida, entre outros. Tendo-se a produção de peças com geometria complexas e alto desempenho sem estrutura de suporte extra, diferentemente dos métodos de fabricação tradicionais (Tamir et al., 2022b; Zhao and Guo, 2020).

A tecnologia de impressão tridimensional (3D) tem se mostrado uma solução viável para a fabricação customizada com base nas demandas e requisitos da indústria. Sendo um método de produção que envolve a construção de objetos tridimensionais, camada por camada, via a deposição controlada de material. Utilizando-se modelos digitais pré-modelados para orientar a fabricação, desde a base da peça, progredindo em direção ao topo, à medida que cada camada é adicionada até a impressão completa da peça. (Tamir et al., 2022a).

Entretanto, é importante considerar também algumas desvantagens da manufatura aditiva. Uma delas é a velocidade de produção, que ainda é relativamente lenta em comparação aos métodos convencionais. Isso pode limitar a aplicabilidade da impressão 3D em certos contextos de automação que exigem produção em larga escala e alta velocidade. Além disso, a maioria das impressoras 3D disponíveis no mercado atualmente não possuem recursos automáticos de correção de erros e monitoramento de qualidade, tornando-se esse um dos maiores desafios, detectar e mitigar os defeitos dos produtos (Liu et al., 2019).

Em relação aos sistemas atuais de fabricação e montagem, é crucial ter flexibilidade para se ajustar às mudanças rápidas na demanda em grande escala, à diversificação de produtos com configurações específicas, ao processamento aleatório de pedidos, aos prazos de entrega reduzidos e aos ciclos de vida curtos dos produtos. Assim, a automação flexível na produção aprimora os processos mantendo a competitividade no mercado (Hoebert et al., 2023).

Consequentemente, para se manterem competitivas nos mercados globais, as linhas de produção devem ser capazes de se adaptar facilmente às novas circunstâncias de produção, sem comprometer o custo, o benefício ou a qualidade dos produtos. Nesse contexto, os robôs desempenham um papel fundamental ao possibilitar essa transformação. Com sua capacidade de realizar tarefas de forma rápida, eficiente e precisa por longos períodos. Portanto, permitindo-se soluções flexíveis, seguras e confiáveis para o manuseio de peças, incluindo eficientes sistemas de *pick-and-place* (Iriondo et al., 2019).

A combinação dos robôs manipuladores e da manufatura aditiva traz uma nova dimensão à automação industrial. Os robôs podem ser equipados com ferramentas impressas em 3D, como garras, pinças e dispositivos de fixação personalizados, permitindo uma manipulação mais precisa e adaptável dos materiais (Sefene et al., 2022). Um exemplo de aplicação robótica na indústria eletrônica é o desenvolvimento de elementos finais inteligentes feitos de alumínio e equipados com vários sensores, projetada para manipular cabos conectados à placa de circuito impresso (PCB), conectando-os e removendo-os da PCB. A garra apresenta um formato específico para os conectores utilizados na PCB, permitindo uma manipulação precisa (Korkmaz et al., 2022; Popov and Fleisher, 2020).

Especificamente, há uma lacuna em elementos finais de manipuladores robóticos, uma vez que precisam de customização pra uso final de manipulação. Em especial em processos de etiquetagem de PCBs de dimensões diferentes. Notando-se que o desenvolvimento de garras é complexo e oneroso em função do tipo de material de usinagem. Assim, o desenvolvimento de uma garra com filamentos alternativos via impressão 3D, que denotem resistência e robustez para usos nesses processos torna-se uma alternativa interessante, em termos de celeridade, custo e precisão.

Neste artigo, é proposta uma metodologia abrangente para o desenvolvimento de uma garra robótica, abordando desde a análise de esforços mecânicos até a integração com o robô manipulador. Além disso, será feita uma comparação entre os materiais PLA e ABS, comumente utilizados, a fim de determinar sua adequação na construção da garra utilizando manufatura aditiva.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão dos elementos-chave envolvidos no desenvolvimento da garra robótica é essencial para embasar e justificar as análises e escolhas realizadas. Nesse sentido, exploraremos conceitos relacionados aos materiais PLA e ABS, utilizados na construção da garra, ao atuador MHL2-10D, responsável pelo movimento e controle da pinça, e às análises de esforços. Essas informações fornecerão insights importantes sobre as propriedades dos materiais, o funcionamento do atuador e as forças que a garra estará sujeita durante sua operação

2.1 Poliacido Láctico - PLA

O Poliacido Láctico (PLA) é um polímero de engenharia com diversas aplicações, que pode ser produzido a partir de recursos renováveis, como monômero derivado do amido de milho. Além de apresentar características que permitem a substituição dos materiais usuais derivados do petróleo. Nos últimos anos, o uso do PLA na forma de filamentos para impressão 3D tem aumentado significativamente (Spohr et al., 2021). Há um grande interesse na impressão 3D de materiais mais sustentáveis, o que inclui a utilização de compósitos que incorporam e reciclam resíduos industriais. O PLA possui boa resistência mecânica o que o torna versátil para uma grande gama de aplicações, como sacolas plásticas, embalagens, copos, peças simples etc (de Mezenes, 2023).

2.2 Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS

O Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) é um tipo de plástico estireno que consiste na combinação de três monômeros. Essa combinação influencia as propriedades das resinas, proporcionando alta resistência mecânica, uma superfície de boa aparência e uma resistência térmica moderada. O ABS é derivado do petróleo e possui características notáveis, como flexibilidade ótima e resistência a impactos elevados. Geralmente, os filamentos feitos com esse material apresentam cores opacas (Souza, 2022). Devido à sua facilidade de processamento e combinação de características desejáveis, especialmente a resistência a esforços mecânicos intensos, o ABS se tornou um material amplamente utilizado em diversos setores. Os setores mais comuns em que é empregado são a indústria automotiva e eletrodoméstica. Essa versatilidade de aplicação se dá pelo fato de o ABS ser considerado um material de fácil manuseio e oferecer boas propriedades mecânicas (de Holanda Nogueira, 2022).

2.3 Atuador MHL2-10D

O MHL2-10D é um modelo específico de atuador pneumático fabricado pela empresa SMC Corporation. Trata-se de um atuador de dupla ação, o que significa que ele pode realizar movimentos tanto de avanço quanto de recuo. Sendo amplamente utilizado em diversas aplicações industriais que requerem força e movimentação controlada por ar comprimido. Ele possui um diâmetro de 10 mm e é capaz de gerar uma força de até 7.7 N como observado na Figura 1 (Corporation, 2019).

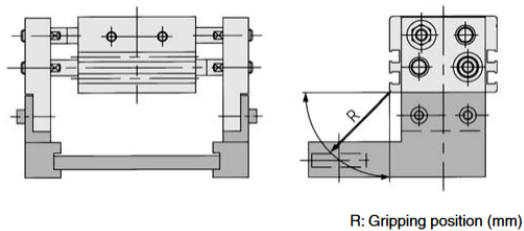


Figura 1. Atuador MHL2-10D. Fonte: Operation Manual - SMC Corporation.

O MHL2-10D é projetado para operar em sistemas pneumáticos, onde o ar comprimido é direcionado para a entrada do atuador, criando uma pressão interna que resulta no movimento desejado. Ele é construído com materiais de alta qualidade e durabilidade, garantindo uma vida útil longa e confiabilidade nas aplicações industriais (Corporation, 2019).

2.4 Análise de esforços

Tensão de Von Mises: Materiais dúcteis podem apresentar ruptura quando são submetidos a tensões estáticas que excedem seu limite de resistência à tração. No entanto, considera-se que a falha em materiais dúcteis ocorre quando acontece deformação permanente após o ponto de escoamento. Para explicar esse comportamento de falha, várias teorias foram desenvolvidas (Simioni, 2020).

Uma das principais teorias é a tensão de Von Mises, também conhecida como critério de Von Mises, no qual é possível tirar resultados de tensões multiaxiais, ou seja, quando existem as tensões de cisalhamento e as tensões normais atuantes em um ponto específico de um objeto. Essa combinação de tensões pode ser chamada de tensão equivalente (Stocchero et al., 2021).

Deslocamento: Os deslocamentos mínimo e máximo indicam a deformação que a peça está sujeita a partir dos esforços que estão sendo induzidos no objeto levando em consideração o seu material e as suas propriedades físicas e químicas.

Fator segurança: O fator de segurança é obtido da relação entre a tensão máxima permitida pelas características do material e a tensão equivalente induzida pelos esforços (Von Mises). É necessário que a intensidade do fator seja superior a 1 para que o projeto seja aprovado, pois assim indica que a força máxima exercida é menor que a máxima aceitável. (Um valor inferior a 1 indica que existe alguma falha iminente). Os resultados do fator de segurança mostram imediatamente as áreas de escoamento ou ruptura potencial.

3. METODOLOGIA

3.1 Background do processo

As placas de circuito impresso são componentes essenciais na fabricação de dispositivos eletrônicos, como computadores, *smartphones* e equipamentos em geral. O processo manual de etiquetagem de PCBs enfrenta a problemática de ser demorado, o que resulta em baixa eficiência e possibilidade de erros. Para solucionar esse desafio, a proposta

de automação por meio de um robô manipulador se mostra uma alternativa promissora. A utilização de um braço robótico de alta precisão e velocidade, juntamente com uma garra específica para manipulação das placas, permite reduzir o tempo de etiquetagem e melhorar a padronização das etapas principais do processo. A contextualização pode ser observado na Figura 2.

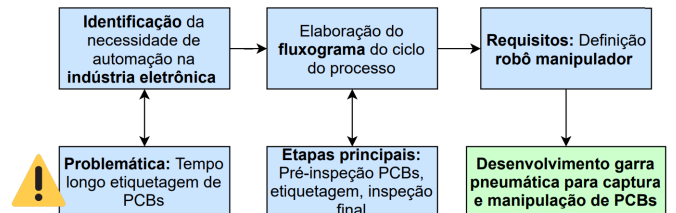


Figura 2. Contextualização do processo.

Essa automação contribui para a otimização dos processos de produção, redução de erros e aumento da eficiência nas linhas de montagem. A metodologia adotada para o desenvolvimento da garra robótica baseou-se na integração de conceitos de manufatura aditiva, robótica e automação de processos, como mostra a Figura 3.

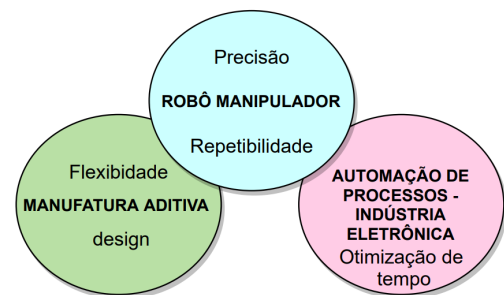


Figura 3. Representação gráfica das temáticas principais da proposta

3.2 Desenvolvimento e Avaliação

A Figura 4 apresenta a metodologia de desenvolvimento: análises de forças no *software* Inventor, modelagem e impressão 3D da garra em PLA, seguidas por testes de esforços mecânicos e validação por meio da programação e repetibilidade do robô.

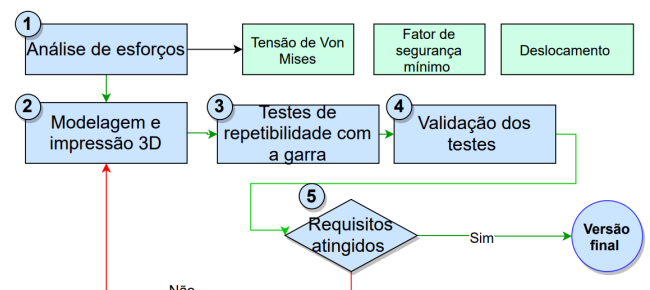


Figura 4. Metodologia desenvolvimento garra robótica.

A garra é constituída de duas partes projetadas para a captura de PCBs: o atuador pneumático e uma pinça, que permitem o posicionamento de forma precisa e segura durante o processo. Sendo capaz de lidar com dois modelos

de PCBs: os tipos A e B, descritos na Figura 5, que apresentam especificações e tamanhos diferentes, porém com o mesmo ciclo: captura da PCB na bandeja, direcionamento para primeira inspeção, direcionamento para etiquetagem, direcionamento para segunda inspeção e retorno da PCB, agora etiquetada, para bandeja.

Para a realização do processo utilizando os dois tipos de PCBs (A e B), a garra pneumática foi projetada para ser ajustável, permitindo a regulação da sua largura por meio de pino com retração por mola, visto na Figura 6.

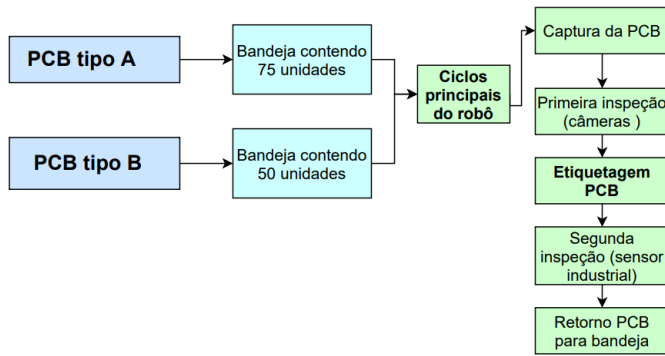


Figura 5. Modelos de PCBs manipuladas no processo.

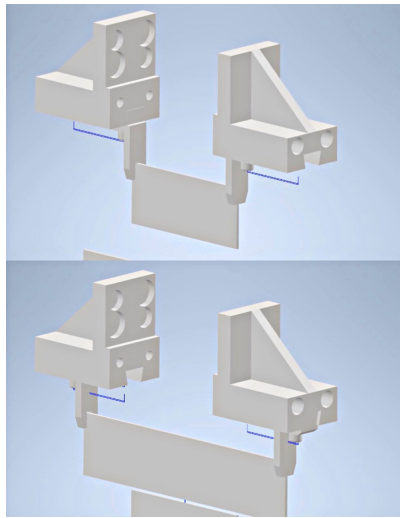


Figura 6. Modelagem garra capturando dois modelos de PCBs.

A análise de esforços mecânicos permite compreender as cargas e os esforços envolvidos durante as operações de captura e deslocamento. Compreender esses esforços é essencial para garantir a segurança das placas durante todo o processo de manipulação, evitando danos e assegurando a integridade dos componentes eletrônicos.

Para essa análise, adotou-se o *software* Inventor, onde foram seguidas as seguintes etapas:

- i) A realização do processo de modelagem da pinça, considerando as dimensões, geometria e características específicas necessárias para a manipulação dos modelos de PCBs. A partir dessa representação virtual, foram definidas as condições de contorno adequadas, incluindo fixações e cargas representativas das forças

que atuam durante as operações de captura e manipulação;

- ii) Em seguida, foi realizada a análise estrutural da garra, essa análise permitiu obter informações importantes sobre as tensões de Von Mises, que indicam as regiões críticas da garra submetidas a maiores esforços. Além disso, foram verificados os deslocamentos que poderiam ocorrer na estrutura da garra, a fim de garantir a precisão necessária durante as operações;
- iii) Para assegurar a segurança e a resistência da garra, foi estabelecido um fator de segurança mínimo, levando em consideração os requisitos de projeto e as especificações dos materiais utilizados.

3.3 Comparativo PLA x ABS

Para realizar uma análise completa e abrangente das propriedades e características dos materiais PLA e ABS, foram conduzidas análises estruturais em ambos os casos. Esses materiais foram selecionados devido às suas amplas aplicações na manufatura aditiva.

A Figura 7 apresenta as análises realizadas na pinça em PLA, destacando a distribuição de tensão de von Mises, o deslocamento e a tensão de segurança. Essas imagens fornecem uma representação visual e permitem uma análise mais detalhada da resposta mecânica da pinça em PLA. As Figura 7 e 9 também mostram as mesmas análises realizadas na pinça em ABS, permitindo uma comparação direta entre os dois materiais. Com base na interpretação dessas representações gráficas, é possível tomar decisões informadas em relação à escolha do material mais adequado para garantir a eficiência e confiabilidade no sistema de automação.

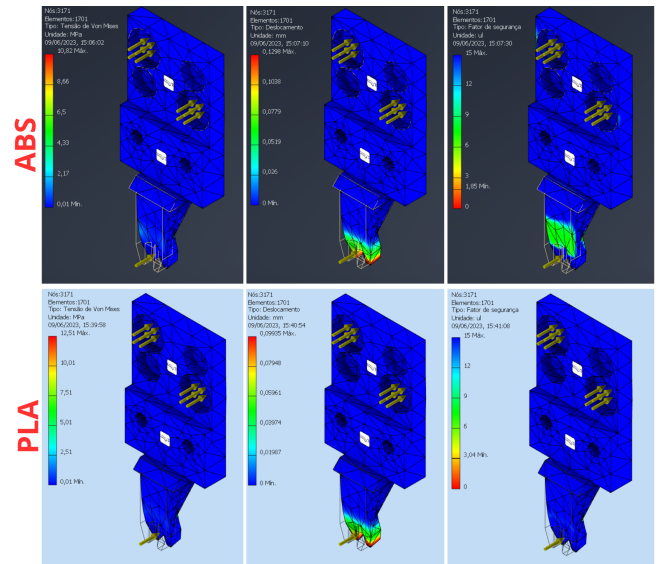


Figura 7. Análises realizadas nas pinças ABS e PLA.

3.4 Ajustes finos

No desenvolvimento foram realizadas modificações no projeto, como o aumento de espessura em áreas críticas. Onde novas análises foram executadas para verificar a eficácia das alterações realizadas. Esse ciclo de análise e ajustes foi repetido até que um resultado satisfatório fosse alcançado,

Nome	PLA	
Geral	Densidade de massa	1,29 g/cm ³
	Resistência à escoamento	38 MPa
	Resistência máxima à tração	47,2 MPa
Tensão	Módulo de Young	2,91 GPa
	Coefficiente de Poisson	0 s_m
	Módulo cortante	1,455 GPa
Nome(s) de peça	Pinça (2).ipt	

Figura 8. Especificações da pinça em PLA.

Nome	ABS plástico	
Geral	Densidade de massa	1,06 g/cm ³
	Resistência à escoamento	20 MPa
	Resistência máxima à tração	29,6 MPa
Tensão	Módulo de Young	2,24 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,38 s_m
	Módulo cortante	0,811594 GPa
Nome(s) de peça	Pinça.ipt	

Figura 9. Especificações da pinça em ABS.

com tensões dentro dos limites estabelecidos, deslocamentos aceitáveis e um fator de segurança mínimo adequado.

Essa técnica permitiu otimizar o design da garra, garantindo sua resistência e durabilidade.

3.5 Impressão 3D

Na Figura 10, é apresentada a impressão da pinça, evidenciando o processo de manufatura aditiva utilizado na sua fabricação. E a Figura 11, mostra o atuador MHL2-10D utilizado, exibindo sua estrutura e conexões.

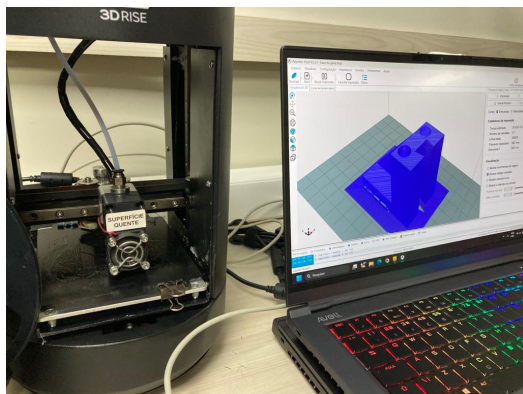


Figura 10. Impressão 3D das pinças do processo.

3.6 Simulações robóticas

Além das análises realizadas no *software* Inventor, foram conduzidas simulações no *software* ABB *Robotic Studio*, vide Figura 12, para aprimorar o desenvolvimento da solução de automação no processo. A utilização dessa plataforma de simulação permitiu criar um ambiente virtual que reproduziu com precisão o comportamento do robô manipulador e da garra. Essas simulações foram essenciais para testar diferentes cenários e validar o desempenho da garra em relação ao movimento, interação com as PCBs e programação do robô, com adendo de uma lógica eficiente para o uso das coordenadas.



Figura 11. Atuador MHL2-10D instalado.

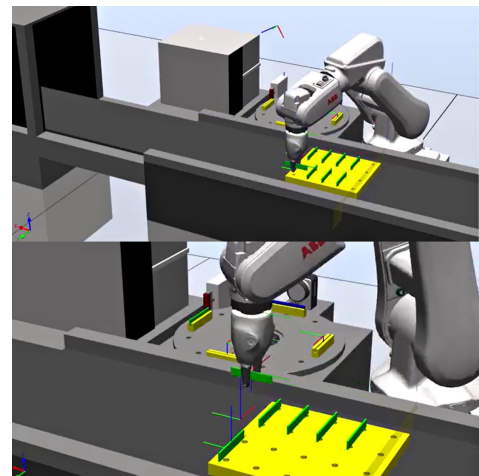


Figura 12. Simulações para análise do processo com o *software* ABB *Robotic Studio*.

3.7 Ajuste e calibração da ferramenta no braço robótico

A realização do ajuste e calibração da garra no braço robótico é uma etapa fundamental na integração eficiente da ferramenta ao sistema automatizado, visto que garante que a garra esteja devidamente alinhada e configurada, permitindo um desempenho adequado durante o processo.

O braço robótico, ao manipular as PCBs, utiliza o sistema de coordenadas X,Y,Z, como mostra a Figura 13, que são cadastradas dentro do controle de operações do robô e serão utilizadas como referência tanto para o plano de trabalho quanto para ferramenta.

Esse cadastro é feito primeiramente com a instalação da ferramenta física no último eixo de movimentação do robô, de forma que este fique alinhado e nivelado para atuar com precisão. Após a fixação correta da ferramenta no eixo do robô, são feitas as devidas conexões de acionamento para que esta responda aos comandos. Feito isso, é necessário cadastrar os pontos das coordenadas X,Y,Z referente a posição e orientação em referência a base do robô. Esse cadastro é feito utilizando o sistema de "coordenadas de 6 pontos", pois esse é considerado o sistema com mais precisão e capaz de executar movimentos mais complexos. É necessário escolher dois eixos dentre os eixos cartesianos para referenciar a ferramenta, em seguida deve-se utilizar uma "ferramenta de calibração", que estará fixa, e fazer a

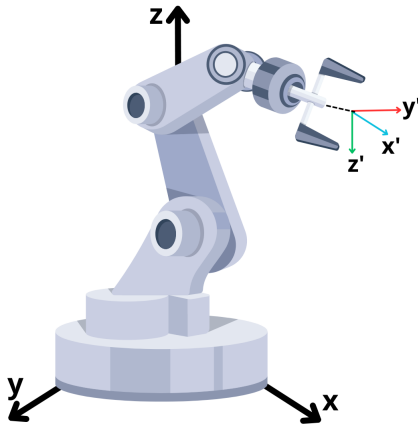


Figura 13. Sistema de coordenadas do braço robótico.

manipulação do robô e a ferramenta de modo que, o ponto de referência da ferramenta (escolha do operador) coincida com o ponto da "ferramenta de calibração".

Após a sequência de movimentos e cadastro de orientação de acordo com os eixos escolhidos, a ferramenta será "criada" dentro da memória do controlador do robô e já estará pronta para ser selecionada durante a manipulação de PCB. Com isso, ao selecionar o "sistema de coordenadas" como sendo, por exemplo "Tool 1" (ferramenta cadastrada anteriormente), a nova referência será o ponto da ferramenta que o operador escolheu durante a calibração. Através das conexões pneumáticas do robô, a garra irá abrir/fechar sempre que for solicitado dentro da rotina do robô.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos, como mostra a Tabela 1, demonstraram a viabilidade do uso do PLA na fabricação de uma garra robótica. Além disso, sua leveza e baixo custo tornam-na uma opção atrativa para a aplicação e prototipação em relação ao ABS.

4.1 Funcionamento do sistema

A dinâmica das saídas do robô e sua relação com o controle da garra é essencial para assegurar a correta execução das tarefas.

A Figura 14 mostra as saídas do robô, ROs, em estado lógico falso (OFF). Essas saídas são acionadas dentro da rotina de programação do robô de acordo com a operabilidade. Essas saídas são cadastradas e referenciadas no sistema do controlador pelo operador.

A Figura 15, mostra a saída referenciada como "abrir garra" acionada (ON), e o robô libera o fluxo de ar comprimido através da sua válvula pneumática interna para a saída RO e conseqüentemente aciona o atuador bilateral para expandir (abertura da garra).

Durante os testes de repetibilidade, as pinças fabricadas em PLA, vide Figura 16, demonstraram uma maior resistência e rigidez em comparação com as pinças de ABS, apresentadas na Figura 17. O PLA mostrou-se mais durável, mantendo suas propriedades mecânicas ao longo dos

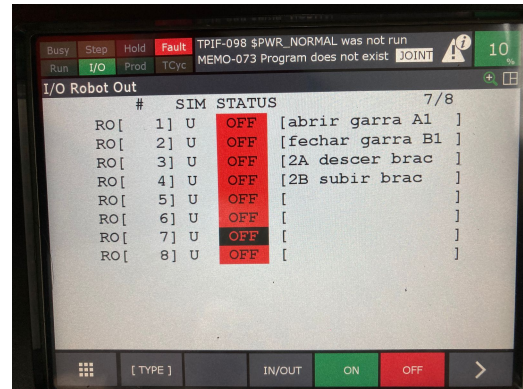


Figura 14. Acionamento da garra pneumática em estado off.

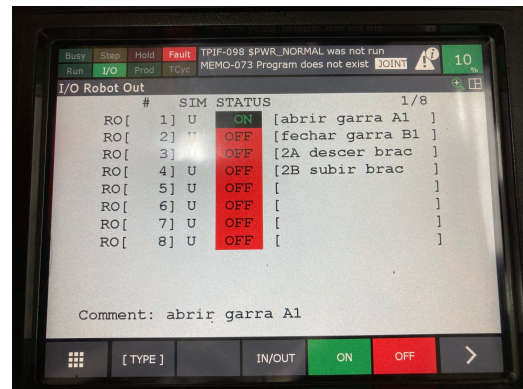


Figura 15. Acionamento da garra pneumática em estado on.

testes, o que é crucial para garantir a confiabilidade e a vida útil da garra.



Figura 16. Pinça inicial em material PLA.

Outro ponto relevante é a facilidade de impressão e modelagem do PLA. Devido às suas propriedades de fusão e baixa taxa de contração, o PLA permite a obtenção de peças com maior precisão dimensional e menor deformação durante o processo de impressão 3D.

A sequência apresentada na Figura 18 exemplifica como é executada o ajuste da pinça no *setup* para adaptação dos dois tipos de PCBs do processo. A realização de testes revelaram que ambas as versões foram capazes de realizar o ajustes de forma rápida e eficiente, com um tempo

Tabela 1. Resultados

Material	T. de Von Mises (MPa)	Deslocamento (mm)	Fator de Seg. Mín.	Tensão de Escoamento (MPa)	Carga Máx de Ruptura ou Falha (%)
PLA	12,51 máx.	0,09935 máx	3,04	41,9	29,83
	0,01 mín.	0,0 mín			
ABS	10,82 máx	0,1298 máx	1,85	20,2	53,56
	0,01 mín	0,0 mín			



Figura 17. Pinça inicial em material ABS.

médio de aproximadamente 2 segundos. Isso indica que a utilização tanto do PLA quanto do ABS proporciona um tempo de *setup* adequado para a automação do processo.

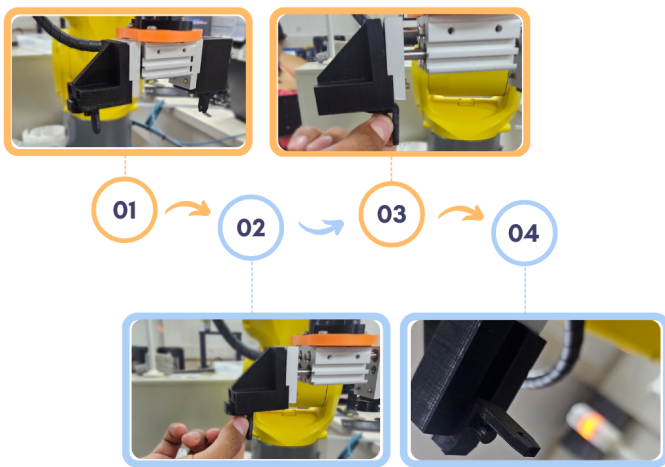


Figura 18. Ajuste da pinça para *Setup* de modelos de PCBs.

O gráfico de Tensão de Von Mises em relação à Etapa de Solução revelou a taxa de convergência dos materiais PLA e ABS. O PLA apresentou uma taxa de convergência de 27.912%, e o ABS teve uma taxa de 32.37%. Esses valores indicam numericamente uma boa confiabilidade dos resultados de tensão a cada etapa. O resultado convergente dos gráficos nas Figuras 20 e 21 indica a plotagem de convergência ideal, pois a cada etapa da solução a malha diminui, entretanto a tensão de Von Mises(MPa) aumenta.

Com base nos resultados obtidos, fica evidente que o PLA é uma opção mais adequada para a fabricação das pinças utilizadas na captura e manipulação dos tipos de PCBs A e B em Figura 19. Sua resistência, rigidez, durabilidade

e baixo peso contribuem para um desempenho superior e uma maior eficiência. No entanto, é importante ressaltar que a escolha entre o PLA e o ABS dependerá das necessidades específicas do processo e das características do ambiente de trabalho.

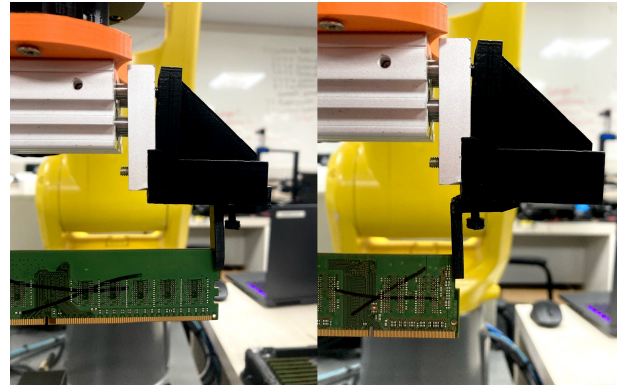


Figura 19. Captura e manipulação dos tipos de PCBs A e B.

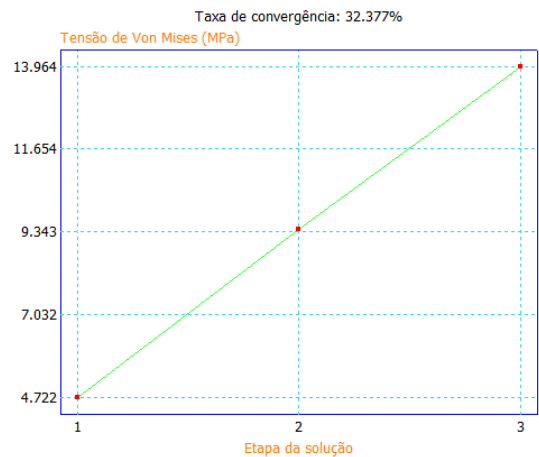


Figura 20. Tensão Von Mises x Etapa da solução - ABS

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentada uma metodologia de manufatura aditiva para o desenvolvimento de projeto de um elemento final, de um manipulador robótico industrial, na realização de rotinas de etiquetagem de PCBs. Apresentando-se a modelagem e desenvolvimento da análise de esforços mecânicos em dois tipos de filamentos de impressão: PLA e ABS.

Pelos resultados obtidos observa-se que, a garra robótica desenvolvida oferece um desempenho eficiente para a au-

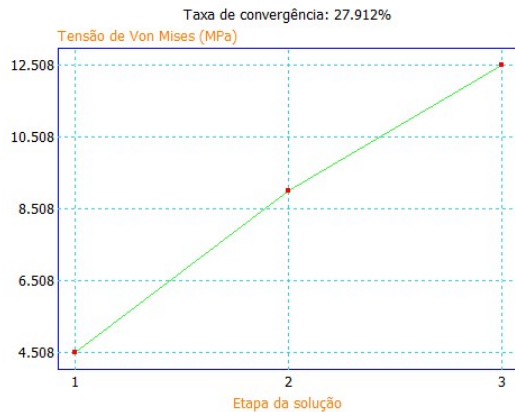


Figura 21. Tensão Von Mises x Etapa da solução - PLA

tomação do processo de manipulação de PCBs na indústria eletrônica. Durante a avaliação comparativa entre os materiais PLA e ABS, os resultados revelaram que o PLA demonstrou um desempenho superior em termos de resistência e durabilidade. Corroborando na viabilidade do seu uso na fabricação das pinças da garra.

A abordagem empregada neste trabalho reforça a integração da manufatura aditiva e dos robôs manipuladores industriais. Viabilizando-se, o projeto de soluções customizadas e confiáveis para fins específicos de manipulação como etiquetagem de PCBs. Todavia, promovendo-se a redução de erros e o aumento da produtividade em todo ciclo de etapas do processo.

Complementarmente, sugere-se como trabalhos futuros a realização de modelagem e avaliação de esforços com outros filamentos de alta robustez como o Pet-G, Nylon e Poliacetal, com a finalidade de investigar seu potencial como material para a construção da garra e aprimoramentos do processo em termos de eficiência e produtividade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade do Estado do Amazonas pelo incentivo de pesquisa deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Corporation, S. (2019). Parallel type air gripper. 135, 7–9. URL <https://www.smcworld.com/>.

de Holanda Nogueira, P. (2022). Análise da influência dos parâmetros de usinagem sobre o acabamento superficial dos corpos de provas impressos com filamento abs. *Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas.*, 135, 7–9.

de Mezenes, L.R. (2023). Desenvolvimento de filamento compósito de matriz termoplástica de pla com reforço híbrido de fibras curtas de carbono e contínuas de kevlar29 para manufatura aditiva por extrusão de material. *Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós graduação em Engenharia Mecânica.*, 135, 7–9.

Hoebert, T., Lepuschitz, W., Vincze, M., and Merdan, M. (2023). Knowledge-driven framework for industrial

robotic systems. *J Intell Manuf*, 34, 771–788. doi: 10.1007/s10845-021-01826-8.

Iriondo, A., Lazkano, E., Susperregi, L., Urain, J., Fernandez, A., and Molina, J. (2019). Pick and place operations in logistics using a mobile manipulator controlled with deep reinforcement learning. *Applied Sciences*, 9(2). URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/2/348>.

Korkmaz, M.E., Waqar, S., Garcia-Collado, A., Gupta, M.K., and Krolczyk, G.M. (2022). A technical overview of metallic parts in hybrid additive manufacturing industry. *Journal of Materials Research and Technology*.

Liu, C., Law, A.C.C., Roberson, D., and Kong, Z.J. (2019). Image analysis-based closed loop quality control for additive manufacturing with fused filament fabrication. *Journal of Manufacturing Systems*, 51, 75–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.04.002>.

Popov, V.V. and Fleisher, A. (2020). Hybrid additive manufacturing of steels and alloys. *Manufacturing Review*, 7, 6.

Sefene, E.M., Hailu, Y.M., and Tsegaw, A.A. (2022). Metal hybrid additive manufacturing: state-of-the-art. *Progress in Additive Manufacturing*, 7(4), 737–749.

Simioni, I. (2020). Análise de fadiga de um semieixo para um automóvel de competição. *Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Caxias do Sul, Engenharia Mecânica.*, 135, 7–9.

Souza, J.G.Q. (2022). Efeito dos parâmetros de impressão 3d na resistência à tração de peças impressas com filamento abs. *Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas.*, 135, 7–9.

Spohr, D.L., Sánchez, F.A.L., and Marques, A.C. (2021). Desenvolvimento de um filamento compósito sustentável para impressão 3d baseado em matriz pla reforçada com resíduos de fibras de madeira. *IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC.*, 35, 123–126.

Stocchero, D., Garcia, M.S., and Alves, W.L. (2021). Análise de tensões de uma escavadeira. *Trabalho de conclusão de curso - Universidade Positivo, Engenharia Mecânica.*, 135, 7–9.

Tamir, T.S., Xiong, G., Fang, Q., Dong, X., Shen, Z., and Wang, F.Y. (2022a). A feedback-based print quality improving strategy for fdm 3d printing: an optimal design approach. 2777–2791. doi:<https://doi-org.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00170-021-08332-4>.

Tamir, T.S., Xiong, G., Jiang, J., Shen, Z., Lodhi, E., Ali, H., and Wan, L. (2022b). Terms development of additive manufacturing. 1–5. doi:10.1109/DTPI55838.2022.9998939.

Zhao, D. and Guo, W. (2020). Tmixed-layer adaptive slicing for robotic additive manufacturing (am) based on decomposing and regrouping. 985–1002. doi:10.1007/s10845-019-01490-z.