



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO



## **Desenvolvimento de prótese de mão de baixo custo utilizando PET reciclado e impressão 3D controlada por Inteligência Artificial**

**Vitor Teles Santos da Silva**

**Mossoró-RN, 2025**



## INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

De acordo com o Ministério da Saúde do Brasil, a amputação é definida como a remoção total ou parcial de um membro, sendo um procedimento adotado em diversos casos de doenças e complicações. O objetivo principal é eliminar a parte afetada para melhorar a funcionalidade da região (Gomes et al, 2019).

Nos membros superiores, os níveis de amputação incluem: desarticulação do ombro, amputação do braço e desarticulação do cotovelo, entre outros. Já abaixo do cotovelo, podem ser realizadas desarticulação do punho.

A mão é um segmento corpóreo que possui uma biomecânica complexa, apresenta com sua principal função movimentos finos e precisos, onde um grupo de músculos age em conjunto sobre ela e o punho, possibilitando suas diversas movimentações funcionais [2] a criação de próteses a fim de substituir esse segmento necessita de nanotecnologia e cálculos para reproduzir os delicados movimentos da mão. Porém toda essa tecnologia demanda um alto custo sendo a principal barreira para o uso desse tipo de dispositivo em membros superiores.

A perda de membros superiores é um problema que afeta pessoas em todo o mundo. A ausência de uma mão, por exemplo, pode impactar significativamente na qualidade de vida e na independência desses indivíduos (Lima et al, 2023).

Os homens são os mais afetados por amputações, principalmente devido à maior exposição a situações de risco, como acidentes de trabalho e traumas. A faixa etária mais comum para esse tipo de ocorrência é entre 21 e 40 anos. Entre as principais causas de amputação estão acidentes traumáticos, diabetes, má-formação congênita e acidentes laborais, entre outros fatores.

A maioria dos produtos comerciais utilizados no nosso dia a dia são desenvolvidos para pessoas que não possuem limitações, se tornando um verdadeiro desafio para pessoas com deficiência executarem atividades simples, tais como abrir uma pasta de dente, uma garrafa, vestir roupas, colocar a pasta de dente na escova, passar uma página de livro e até mesmo abrir uma embalagem de salgadinho (Silva, 2022).



Embora as próteses de mão estejam disponíveis comercialmente, os seus preços elevados, o tornam inacessíveis para grande parte da população que necessitam desse recurso. Esse valor pode chegar a R\$ 100 mil (Portal G1, 2013). Quanto mais avançada for a tecnologia aplicada, maior será o seu valor de aquisição.

Como a integração de Arduino, inteligência artificial, PET reciclado e tecnologia de impressão 3D pode otimizar o desenvolvimento de próteses de mão de baixo custo?

Nesse contexto, as impressoras 3D surgem como uma tecnologia promissora para a fabricação de próteses mais acessíveis financeiramente. A impressão 3D consiste na criação de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais, disponíveis em plataformas especializadas em projetos 3D. No entanto, um dos principais desafios é o custo do filamento, material essencial para a impressão, que ainda encarece a produção desses dispositivos.

Sob essa perspectiva, alternativas sustentáveis têm surgido na impressão 3D, como o uso de filamentos reciclados de garrafas PET. Esse material reduz os custos de produção e promove a sustentabilidade ambiental. No entanto, um dos maiores desafios tecnológicos está no desenvolvimento de equipamentos capazes de transformar o filamento plano das garrafas PET em um material adequado para impressão 3D. Esse processo exige uma máquina especializada que possa extrudar o plástico reciclado, convertendo-o em filamentos com diâmetro e resistência para uso em impressoras 3D.

A área de desenvolvimento de próteses e órteses é uma das que mais tem se beneficiado dos avanços da tecnologia de impressão 3D porque a personalização desses dispositivos melhora a adaptação e o nível de conforto do usuário. Em relação à automação de próteses de membro superior impressas em 3D, a plataforma Arduino tem sido bastante utilizada porque é uma ferramenta de código aberto, baixo custo e de fácil uso (Silva, 2022).

O Arduino se consolida como uma ferramenta essencial na prototipagem eletrônica. Essa plataforma de desenvolvimento utiliza uma linguagem baseada em C/C++, sendo programada através de uma interface conectada ao computador.

A eletromiografia é uma ferramenta de quantificação, capaz de mensurar a atividade muscular por meio das variações dos potenciais elétricos dos músculos durante cada



contração realizada, dando suporte na elaboração de diagnóstico e terapêutica de funções e distúrbios motores (Gomes et al, 2019).

Os servomotores são mini motores capazes converter sinais elétricos em movimento mecânico com precisão através de comandos oriundos do Arduino. Esse componente eletromecânico é responsável por realizar o movimento de abrir e fechar a mão.

O Arduino atuará como o cérebro eletrônico da prótese, integrando três componentes essenciais: programação, captação de sinais e atuação mecânica. Ao ser codificado, ele processará os sinais elétricos detectados pelo sensor EMG - que monitora a atividade muscular residual do usuário - e os converterá em comandos precisos para os servomotores. Estes, por sua vez, transformarão os impulsos elétricos em movimentos articulados, permitindo que a prótese realize ações como abrir e fechar a mão de forma intuitiva e proporcional à intensidade da contração muscular detectada.

A ideia contextualiza duas questões cruciais no meio social, sendo essas: a acessibilidade e a sustentabilidade ambiental.

No âmbito da acessibilidade, as próteses tradicionais apresentam barreiras econômicas que excluem populações carentes. A falta de dispositivos acessíveis restringe mobilidade e independência, porém, a ideia busca justamente democratizar o acesso a tecnologias assistivas, restabelecer capacidades funcionais dos amputados e promover reinserção social

No âmbito da sustentabilidade ambiental, a utilização do PET reciclado como matéria-prima para produzir componentes da prótese, uma vez que é um material amplamente disponível e sem custo financeiro. A reciclagem de garrafas PET contribui para a redução da quantidade de resíduos plásticos presentes no meio ambiente.

Atualmente, o Instituto Federal do Ceará, campus Limoeiro do Norte, desenvolve um projeto voltado para a criação de próteses destinadas a indivíduos amputados. O processo de desenvolvimento é inteiramente realizado por meio de técnicas convencionais de modelagem 3D, sem a utilização de inteligência artificial. A equipe utiliza especificamente o software Autodesk Inventor para o desenho técnico dos componentes, que posteriormente são fabricados através de impressão 3D. Além disso, o material principal utilizado nesse



processo também é o PET (Polietileno Tereftalato), sendo uma forma de baratear o custo das próteses comerciais. Portanto, o intuito é justamente ampliar a ideia com a implementação da inteligência artificial para um maior desempenho eletrônico na prótese.

Este projeto visa desenvolver uma prótese mioelétrica inovadora, baseada em sistemas de controle capazes de capturar sinais mioelétricos provenientes do músculo bíceps. No final do projeto, espera-se melhorar a qualidade de vida dos indivíduos em virtude das atividades diárias e promover a inclusão social dos amputados.

## **OBJETIVOS**

### **GERAL:**

Desenvolver uma prótese de mão funcional e acessível, utilizando materiais sustentáveis, impressão 3D, plataforma Arduino e inteligência artificial, visando reduzir os custos.

### **ESPECÍFICOS:**

- Reduzir mais de 50% do custo comercial das próteses de mão através do uso da plataforma arduino e tecnologia de impressão 3D.
- Utilizar materiais sustentáveis, como o PET reciclado, na fabricação da prótese de mão, visando promover a sustentabilidade ambiental e reduzir os custos de produção.
- Desenvolver um programa de controle para o uso do Arduino na movimentação da prótese.
- Incrementar algoritmos de inteligência artificial para interpretar sinais mioelétricos com alta precisão.

## **METODOLOGIA**

Esta proposta caracteriza-se como uma pesquisa aplicada com desenvolvimento experimental, uma vez que visa combinar conhecimentos científicos existentes com inovações tecnológicas para criar uma solução prática (prótese mioelétrica de baixo custo).



A abordagem experimental é essencial para testar e refinar o processo de reciclagem de PET, a fabricação do filamento, a impressão 3D e a integração do sistema eletrônico, garantindo que o produto final atenda aos requisitos técnicos e biomédicos.

**Levantamento bibliográfico:** Esta fase inicial envolve uma revisão sistemática das últimas inovações em próteses mioelétricas, com ênfase especial em soluções que utilizam materiais reciclados e sistemas de controle baseados em Arduino. Uma revisão sistemática assegura que o desenvolvimento se baseie em evidências científicas e patentes, evitando redundâncias e promovendo inovação real. A análise de projetos open-source permite adaptar soluções já validadas, reduzindo custos e tempo. A análise comparativa de patentes, artigos científicos e projetos open-source permitirá identificar as melhores práticas e oportunidades de aprimoramento, estabelecendo bases sólidas para o desenvolvimento tecnológico.

**Desenvolvimento da extrusora:** O coração do processo de fabricação sustentável reside na criação de uma extrusora especializada. O desenvolvimento customizado é necessário porque as extrusoras comerciais não são otimizadas para PET pós-consumo. O controle preciso de temperatura e velocidade (variáveis críticas) exigirá testes iterativos para garantir resistência e uniformidade do material. Este equipamento customizado deverá processar garrafas PET pós-consumo, transformando-as em filamentos com propriedades mecânicas adequadas para impressão 3D. O desafio técnico inclui o controle preciso de temperatura, velocidade de extrusão e diâmetro do filamento, garantindo uniformidade e resistência mecânica compatível com aplicações biomédicas.

**Coleta de garrafas PET:** A estratégia de abastecimento sustentável prevê parcerias com instituições educacionais, órgãos municipais e cooperativas de reciclagem. Parcerias com cooperativas e campanhas educativas não apenas garantem matéria-prima, mas também validam o viés socioambiental do projeto, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Além da coleta passiva, serão realizadas campanhas educativas que destacam a dupla finalidade ambiental e social do projeto, incentivando a participação comunitária e ampliando o alcance da conscientização ecológica.



**Processamento do material:** As garrafas coletadas passarão por um rigoroso protocolo de preparação, incluindo: (1) triagem por tipo e cor de plástico; (2) remoção de contaminantes através de lavagem com soluções ecoeficientes; (3) modelagem da garrafa PET, deixando-a maleável para a produção e (4) secagem controlada para eliminar umidade residual que poderia comprometer a extrusão.

**Fabricação de filamentos:** A etapa de transformação do PET reciclado em filamento imprimível requer monitoramento constante de parâmetros como viscosidade do material, taxa de cristalinidade e resistência à tração. A calibração de parâmetros (temperatura, velocidade, preenchimento) é crítica para garantir que o material reciclado atenda aos requisitos de segurança e durabilidade exigidos em próteses. Testes de tração e simulação por elementos finitos serão usados para validar as peças antes da montagem. Testes mecânicos periódicos assegurarão que o material produzido atenda aos requisitos de durabilidade e segurança para uso em dispositivos médicos.

**Seleção e adaptação de modelos 3D:** A curadoria de projetos open-source será complementada por modificações personalizadas no design da prótese, considerando fatores ergonômicos, distribuição de peso e geometria otimizada para reduzir o consumo de material sem comprometer a funcionalidade. Modelos computacionais de elementos finitos auxiliarão na validação estrutural antes da impressão.

**Impressão 3D dos componentes:** A fabricação aditiva será realizada com parâmetros calibrados especificamente para o filamento reciclado, balanceando temperatura de extrusão, velocidade de impressão e padrões de preenchimento. A estratégia de orientação das peças na plataforma de impressão e o uso de estruturas de suporte inteligentes minimizarão desperdícios e garantirão precisão dimensional.

**Sistema eletrônico integrado:** O uso de algoritmos melhora a resposta da prótese a diferentes usuários, enquanto o Arduino Nano oferece custo acessível e flexibilidade para prototipagem. A arquitetura de controle combinará: (1) módulo Arduino Nano pela relação custo-benefício; (2) sensores EMG de superfície com amplificação de sinal adaptativa; (3)



servomotores de torque calibrado para movimentos naturais; e (4) sistema de alimentação portátil com gerenciamento eficiente de energia. A placa de circuito impresso será customizada para otimização espacial.

**Programação avançada:** Além dos algoritmos básicos de controle, serão implementadas técnicas de machine learning para: (1) reconhecimento de padrões de contração muscular; (2) filtragem adaptativa de ruídos eletromiográficos; e (3) ajuste progressivo da sensibilidade conforme o treinamento do usuário. A interface de programação permitirá calibração personalizada para diferentes níveis de amputação.

**Integração e montagem:** A fase de montagem considerará: (1) balanceamento dinâmico dos componentes móveis; (2) sistemas de fixação anatômica ajustáveis; (3) revestimentos protetores contra umidade e impactos; e (4) acabamentos superficiais que combinem conforto e estética. Testes de durabilidade acelerada simularão meses de uso em condições variadas.

**Validação clínica:** O protocolo de testes incluirá: (1) aprovação do comitê de ética, afim de garantir a privacidade e segurança dos dados coletados; (2) avaliação laboratorial de parâmetros técnicos; (3) testes funcionais com pacientes em ambiente controlado; e (4) acompanhamento domiciliar monitorado. Métricas de desempenho abrangerão desde parâmetros técnicos (latência de resposta, precisão de movimentos) até indicadores de qualidade de vida (autonomia em atividades diárias, satisfação do usuário).

## HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS

A criação de próteses personalizadas exige domínio avançado em modelagem 3D e fabricação aditiva.

1. **Pesquisa e Desenvolvimento:** A inovação no projeto depende de uma base sólida de pesquisa científica.





- a. Revisão bibliográfica: Análise de artigos, patentes e projetos similares para identificar tecnologias emergentes e evitar redundâncias.
- b. Análise crítica de soluções existentes: Avaliação de próteses comerciais e open-source para determinar pontos de melhoria, como redução de custos ou aumento de funcionalidades.
2. **Domínio de plataformas abertas de desenhos 3D:** Será necessário utilizar ferramentas de fácil acesso para utilizar desenhos prontos de prótese. Isso inclui desde a concepção inicial até ajustes finos para garantir encaixes precisos e mobilidade adequada.
3. **Adaptação de modelos 3D:** Muitos projetos open-source (como os disponíveis no Thingiverse) precisam ser modificados para atender às necessidades específicas do usuário, como tamanho, peso e tipo de amputação. Isso envolve edição de malhas 3D e simulações de tensão mecânica.
4. **Configuração e operação de impressoras 3D:** O conhecimento em calibração de impressoras (nívelamento da mesa, ajuste de temperatura e velocidade) é crucial para evitar falhas de impressão. Além disso, a seleção de parâmetros como densidade de preenchimento e espessura de camada influencia diretamente na resistência e leveza da prótese.
5. **Reciclagem e Sustentabilidade:** O uso de PET reciclado como matéria-prima exige conhecimentos em processamento de plásticos e engenharia de materiais.
6. **Processamento de PET reciclado:** Envolve etapas como lavagem, secagem e trituração das garrafas, seguida da extrusão para transformá-las em filamento utilizável. É essencial garantir que o material esteja livre de contaminantes que possam comprometer a qualidade da impressão.
7. **Desenvolvimento de máquinas extrusoras:** Como filamentos comerciais de PET reciclado ainda são escassos, será necessário projetar ou adaptar uma extrusora capaz de produzir filamentos com diâmetro uniforme e propriedades mecânicas adequadas. Isso demanda conhecimentos em termodinâmica, controle de processos e mecânica de materiais.
8. **Programação em Arduino:** A plataforma Arduino será programada em C/C++ para interpretar sinais do sensor EMG e controlar os servomotores. Isso inclui desenvolvimento de algoritmos para filtrar ruídos e traduzir contrações musculares em movimentos precisos.



9. **Integração do sensor EMG e servomotores:** O sensor EMG capta microvoltagens geradas pelos músculos, que devem ser amplificadas e convertidas em comandos digitais. Os servomotores, por sua vez, precisam ser calibrados para reproduzir movimentos naturais, como pinça e flexão dos dedos.
10. **Implementação de IA:** Algoritmos de aprendizado de máquina leve serão embarcados no Arduino para melhorar a resposta da prótese. Eles permitirão que o sistema aprenda com os padrões musculares do usuário, aumentando a precisão ao longo do tempo.
11. **Prototipagem e automação:** A montagem da prótese requer habilidades em integração de sistemas mecatrônicos.
12. **Montagem de circuitos eletrônicos:** Inclui a soldagem de componentes, compactação de PCBs (placas de circuito impresso) e testes de continuidade para evitar falhas.
13. **Controle de dispositivos mecatrônicos:** Os servomotores devem ser sincronizados para simular movimentos coordenados, como o fechamento suave dos dedos. Isso demanda ajustes finos em torque, velocidade e ângulo de rotação.
14. **Gestão de projetos:** O sucesso do projeto depende de um planejamento eficiente.
  - a. Planejamento de cronogramas: Definição de prazos realistas para cada etapa, desde a coleta de PET até os testes clínicos.
  - b. Coordenação interdisciplinar: Integração de conhecimentos de engenharia, design e saúde para garantir que a prótese seja tecnicamente viável e clinicamente eficaz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOMES, Guilherme Gallo Costa et al. Construção de uma prótese mioelétrica de mão controlada por micromotores conectados a uma placa de arduino. *Brazilian Journal of Health Review*, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 123-136, jan./fev. 2019. ISSN 2595-6825. Acesso em: 16 jul. 2025.

LIMA, Marcello Anderson Ferreira Batista *et al.* Prótese mioelétrica a partir de reciclagem de garrafas PET e impressão 3D. IFCE, Limoeiro do Norte, CE, 2023. Acesso em: 16 jul. 2025.



MARIA, Thiago Leonard et al. Prótese robótica de baixo custo baseada em plataforma arduino. **Revista Foco**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. e8136, 2025. Acesso em: 15 jul. 2025.

QUEIROZ, Charlene Souza de *et al.* Desenvolvimento e integração de sistemas de monitoramento e controle utilizando LabVIEW e Arduino. **Revista de Gestão e Secretariado**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. e4319, 2025. Acesso em: 15 jul. 2025.

SILVA, Thiago Roberto da. Impressão 3D e automação de uma prótese de membro superior com baixo custo. TCC - Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. Acesso em: 15 jul. 2025.

### CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROJETO

Etapas	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	X										
2		X	X	X								
3				X	X							
4					X							
5					X	X	X	X				
6							X	X				
7								X	X			
8										X	X	
9										X	X	
10										X	X	
11											X	X

1

<sup>1</sup> Utilizei ferramentas de inteligência artificial para aprimoramento linguístico dos textos que elaborei, com base em revisão bibliográfica de artigos científicos.