

CENTRO PAULA SOUZA
ETEC CORONEL FERNANDO FEBELIANO DA COSTA Mecatrônica

Gabriele Marchi Dos Santos

Leonardo Galdino Da Silva

Marina De Souza Medeiros

Mayara Aparecida Pedrazoli Bomback

STEADIWALK:

Exoesqueleto para membros inferiores

Piracicaba

2025

Gabriele Marchi Dos Santos
Leonardo Galdino Da Silva
Marina De Souza Medeiros
Mayara Aparecida Pedrazoli Bomback

STEADIWALK:
Exoesqueleto para membros inferiores

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Técnico em
Mecatrônica da Etec Cel. Fernando
Febeliano da Costa, orientado pelo Profº
Luís Henrique Bernardo e Marcos Aníbal
como requisito parcial para obtenção do título
de técnico em Mecatrônica.

Piracicaba

2025

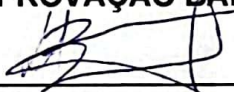
Gabriele Marchi Dos Santos
Leonardo Galdino Da Silva
Marina De Souza Medeiros
Mayara Aparecida Pedrazoli Bomback

STEADIWALK:
Exoesqueleto para membros inferiores

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Técnico em Mecatrônica da Etec Cel.
Fernando Febeliano da Costa, orientado pelo
Profº Luís Henrique Bernardo e Marcos Aníbal
como requisito parcial para obtenção do título de
técnico em Mecatrônica.

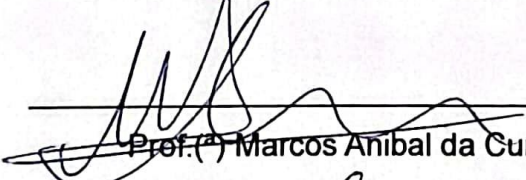
Data de aprovação: 21/12/2025

FOLHA DE APROVAÇÃO BANCA EXAMINADORA



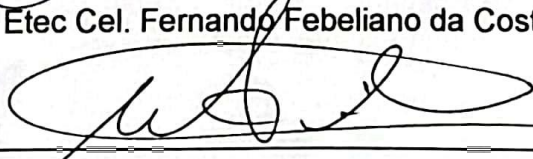
Prof.(ª) Luís Henrique Bernardo

Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa



Prof.(ª) Marcos Aníbal da Cunha

Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa



Prof.(ª) Maria Rosa Briense de Oliveira

Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa

DEDICATÓRIA

Foi pensando nas pessoas que executamos este projeto, por isso dedicamos este trabalho a todos aqueles a quem essa pesquisa possa ajudar de alguma forma. A conclusão deste trabalho resume-se em dedicação dos corpos docentes e discentes, e ao curso de Mecatrônica da Etec; a quem ficamos lisonjeados por dele ter feito parte.

AGRADECIMENTO

Com este projeto encerramos nossa jornada, que só se tornou possível graças ao apoio e incentivo da família, dos amigos e dos professores do curso. Foram indispensáveis a dedicação, os estudos e, acima de tudo, o trabalho em equipe, elemento fundamental para o desenvolvimento do projeto.

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê”

ARTHUR KOESTLER

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um exoesqueleto voltado para auxiliar indivíduos com doenças degenerativas, como a artrose, em processos de reabilitação pós-cirúrgica e na prevenção de lesões. Para tanto, foi desenvolvido um mecanismo projetado para fornecer suporte à região inferior do corpo, com foco na redução do esforço físico necessário para a movimentação das pernas. A metodologia adotada incluiu levantamento bibliográfico, análise de dispositivos já existentes, desenvolvimento do protótipo e realização de testes experimentais, os quais demonstraram uma elevada taxa de eficiência do equipamento. Os resultados obtidos evidenciam que o exoesqueleto apresenta desempenho satisfatório em oferecer suporte muscular e em favorecer a mobilidade dos usuários, mantendo a segurança e a confiabilidade durante sua utilização. Além disso, o projeto diferencia-se por apresentar baixo custo de produção, aspecto que possibilita maior acessibilidade e inclusão de diferentes classes sociais. Conclui-se que o exoesqueleto desenvolvido representa uma alternativa viável e inovadora para auxiliar no processo de reabilitação e prevenção de lesões, contribuindo significativamente para a área da saúde e para a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

Palavras-chave: Exoesqueleto; Reabilitação; Mobilidade; Saúde; Inclusão social.

ABSTRACT

This study aims to develop an exoskeleton designed to assist individuals with degenerative diseases, such as osteoarthritis, in post-surgical rehabilitation processes and in the prevention of injuries. The mechanism was developed to provide support to the lower body, focusing on reducing the physical effort required for leg movement. The methodology included a literature review, analysis of existing devices, prototype development, and experimental testing, which demonstrated a high efficiency rate of the equipment. The results show that the exoskeleton provides satisfactory performance in offering muscle support and improving users' mobility, while ensuring safety and reliability during use. Furthermore, the project stands out for its low production cost, which increases accessibility and promotes inclusion across different social classes. It is concluded that the exoskeleton represents a viable and innovative alternative to support rehabilitation and injury prevention, contributing significantly to healthcare and to improving users' quality of life.

Keywords: Exoskeleton; Rehabilitation; Mobility; Health; Social inclusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desenho do protótipo	09
Figura 2: Programação.....	10
Figura 3: Cronograma de atividades.	12
Figura 4: Teste de funcionamento do sensor EMG.	13
Figura 5: Sinais obtidos pelo sensor EMG.....	13
Figura 6: Teste de funcionamento do protótipo	14
Figura 7: Teste de funcionamento do <i>strain gauge</i>	15
Figura 8: Sensor <i>strain gauge</i> na folha EVA.....	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 Justificativa	4
1.2 Objetivo geral.....	4
1.3 Objetivos específicos	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	8
3.1 Programação.....	10
3.2 Processo de desenvolvimento	12
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
REFERÊNCIAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

A dor na região dos joelhos afeta grande parte da população brasileira. Segundo a pesquisa “Saúde e qualidade de vida: A relação com os pés, tornozelos e joelhos”, realizada pela Pés Sem Dor, cerca de 69% da população brasileira acima de 18 anos sente dores nas articulações do joelho. Dessa forma, esse dado se torna preocupante, visto que essa dor pode afetar consideravelmente atividades cotidianas, esportivas e de lazer. Existem diversos motivos como lesões por trauma, osteoartrose e desgastes causados pela idade. A persistência da dor pode torná-la pior ao longo do tempo. Assim, um exoesqueleto ortopédico para auxílio do movimento pode evitar maiores complicações. Pesquisas indicam que o principal público-alvo de tecnologias assistivas como exoesqueletos são idosos e pessoas que sofrem com doenças degenerativas que causam perda progressiva de cartilagem articular.

Com base em pesquisas aprofundadas e na análise de dados atuais, é possível observar um aumento significativo na fabricação de exoesqueletos ao redor do mundo. Esse crescimento está relacionado à facilidade de acesso à tecnologia e à melhoria na interação entre o usuário e o equipamento. No entanto, apesar desses avanços, o alto custo dos exoesqueletos ainda representa uma grande barreira, o que faz com que poucas pessoas possam ter acesso a essa tecnologia assistiva.

Na maioria dos casos de incapacitação muscular, a recomendação médica mais comum é o uso de próteses ou cadeiras de rodas como métodos de reabilitação. Essas opções, embora eficazes em muitos casos, não oferecem a possibilidade de um movimento mais natural e ativo, sendo muitas vezes a única alternativa indicada. A partir da observação dessas limitações, identifica-se a necessidade de se desenvolver uma nova abordagem de reabilitação: uma alternativa que seja de fácil controle, de baixo custo e que permita maior autonomia ao usuário.

A crescente demanda por soluções tecnológicas voltadas à reabilitação física, somada à limitação das alternativas atualmente disponíveis para pessoas com mobilidade reduzida, reforça a importância de desenvolver dispositivos mais

acessíveis e funcionais. O exoesqueleto, embora já existente no mercado, ainda não é uma opção viável para grande parte da população devido ao seu custo elevado. Dessa forma, este projeto propõe a criação de um exoesqueleto de baixo custo, que possa ser utilizado por pessoas com restrições motoras, especialmente aquelas causadas por doenças articulares como a artrite reumatoide.

1.1 Justificativa

O interesse principal do projeto é a realização de um exoesqueleto para auxílio ao movimento de pessoas com problemas no joelho, em decorrência de doenças como osteoartrose, lesões por trauma e desgastes causados pela idade. Ainda assim, percebemos outras condições em que o desenvolvimento de um exoesqueleto para locomoção e reabilitação seria de extrema importância como: a doença de Parkinson, esclerose múltipla, miastenia grave ou até o diabetes. De forma geral, qualquer tipo de problema que afete a região do ligamento do joelho seria uma situação aplicada.

A identificação da problemática ocorreu a partir do relato de familiares de integrantes envolvidos no desenvolvimento do estudo. Um dos casos mencionados refere-se à mãe de um participante, portadora de doença crônica que compromete a região do joelho e provoca a perda gradual de cartilagem entre os ossos. Além disso, foi constatada outra situação semelhante, envolvendo o pai de outro integrante, que sofreu lesão na articulação do joelho, necessitou de procedimento cirúrgico e perdeu toda a cartilagem no processo, experimentando dores por um período prolongado até a implantação de uma prótese interna. Com isso, optou-se por trabalhar com uma situação próxima à realidade do grupo.

1.2 Objetivo geral

Construir um exoesqueleto ativo para auxílio na locomoção e fisioterapia de pessoas com problemas nos membros inferiores, coletando informações e dados para a boa realização do projeto.

1.3 Objetivos específicos

Coletar dados sobre a reabilitação motora e a eficiência da tecnologia na área da saúde. Ademais, estudar o funcionamento de um exoesqueleto ativo, e assim desenvolver a base de um, pensando em seus materiais e funções. Além disso, construir um exoesqueleto ergonômico para auxílio na locomoção que funcione com sensores e motores elétricos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A reabilitação motora, especialmente em casos de comprometimento significativo da mobilidade, tem se beneficiado de avanços tecnológicos que ampliam as possibilidades terapêuticas e o potencial de recuperação dos pacientes. Nesse cenário, dispositivos assistivos como os exoesqueletos surgem como ferramentas relevantes, ao aliarem engenharia biomecânica e neurorreabilitação, favorecendo a retomada gradual das funções motoras. Essas tecnologias não apenas auxiliam na execução de movimentos, mas também contribuem para a autonomia, inclusão social e melhoria da qualidade de vida. A partir dessa perspectiva, torna-se essencial compreender como essas inovações vêm sendo empregadas na reabilitação e quais impactos apresentam no processo de readaptação funcional dos indivíduos, como discutido por Battistella (2025) ao abordar o papel da tecnologia na promoção de práticas terapêuticas mais eficientes:

A tecnologia desempenha um papel fundamental nesse processo, com inovações como exoesqueletos, realidade aumentada e inteligência artificial sendo incorporadas aos tratamentos. Essas soluções vão além da recuperação da mobilidade, promovendo melhorias na condição funcional dos pacientes, ampliando sua autonomia e fortalecendo sua inclusão social.

As inovações tecnológicas na reabilitação motora oferecem novas perspectivas para pacientes que sofreram comprometimentos significativos da mobilidade, como lesão medular, acidente vascular cerebral (AVC) ou doenças neurodegenerativas. Conforme o portal Drauzio Varella (2023), o exoesqueleto pode ser compreendido como uma estrutura mecânica rígida, dotada de articulações que permitem a realização de movimentos pelo próprio paciente.

Há dois tipos de exoesqueletos: motorizado, equipado com atuador (pneumático, hidráulico ou elétrico) que fornece força para auxiliar o movimento da pessoa com deficiência motora para caminhar ou realizar atividades de locomoção. Passivo, sem motor, funciona como suporte mecânico (ex.: molas) que auxiliam ou reduzem o esforço do usuário para determinados movimentos.

Assim, o intuito do uso do exoesqueleto é que ele, no início, seja uma ferramenta para reabilitação e ao decorrer da melhora do paciente ele vá diminuindo a força gerada e permita que a pessoa assuma o maior controle.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O presente projeto propõe o desenvolvimento de um exoesqueleto ativo voltado para a reabilitação do movimento do joelho, utilizando como base um microcontrolador e um sensor de deformação - *strain gauge*. O funcionamento do sistema ocorre por meio da captação de sinais gerados pelos movimentos de flexão ou extensão muscular, que, após análise e interpretação dos dados, acionam um atuador elétrico responsável por auxiliar o movimento da articulação. O projeto também leva em consideração aspectos fundamentais como o controle de angulação do movimento e os grupos musculares utilizados, buscando preservar a segurança e a efetividade do dispositivo.

Componentes utilizados no protótipo:

- **Órtese ortopédica com joelho articulado:** trata-se de um dispositivo usado para fornecer suporte, estabilidade e controle de movimento ao joelho, especialmente após lesões ou cirurgias. Ao contrário de um imobilizador rígido, as articulações permitem controlar a amplitude de movimento - tanto a extensão quanto a flexão - o que é crucial para a recuperação, permitindo movimentos controlados e seguros dentro dos limites permitidos pelo médico.
- **Atuador elétrico 12V, 200mm, 6mm/s, 1500N:** um dispositivo que faz a conversão de energia elétrica para energia mecânica. Geralmente trabalha junto a um equipamento de controle e posicionadores. Ele recebe comandos e envia dados de seu funcionamento (como velocidade, posição, carga e temperatura) ao sistema.
- **Sensor *Strain Gauge*:** também conhecido como extensômetro elétrico, é feito de um filme muito fino com um fio condutor em forma de zigue-zague, colado a um substrato e depois fixado à superfície que se quer medir a deformação. Quando o componente se deforma (esticando ou comprimindo), o fio condutor também muda de comprimento e largura, alterando sua resistência elétrica. Essa variação de resistência é convertida em um sinal elétrico mensurável, que permite deduzir a deformação mecânica do objeto.
- **Arduino Uno:** é uma placa microcontroladora programável de código aberto, amplamente utilizada para projetos de robótica e eletrônica, sendo a mais famosa e adequada para iniciantes. Ela conta com um processador

ATmega328, 14 pinos digitais (dos quais 6 são PWM), 6 entradas analógicas, e pode ser programada facilmente através de um cabo USB.

- **Ponte H (driver de controle de motor):** um circuito eletrônico que controla o sentido de rotação de motores elétricos, como motores DC e motores de passo, permitindo que girem em ambas as direções e que controlem a sua velocidade mediante o uso de modulação PWM. O seu nome deriva da configuração dos seus quatro interruptores, que se assemelham à letra "H", dirigindo o fluxo de corrente de forma controlada para o motor.

Embora o protótipo tenha apresentado resultados promissores, ele também revelou alguns desafios técnicos, especialmente em relação ao manuseio do sensor de eletromiografia, que havia sido a primeira alternativa para a detecção dos sinais de movimentação. Devido à complexidade dos diversos pulsos detectados durante a análise, concluiu-se que seria necessário um tempo maior de estudo e refinamento para a correta implementação desse sensor, o que ultrapassa o prazo disponível para o desenvolvimento do projeto.

Diante dessa limitação e após uma nova pesquisa sobre sensores adequados à aplicação, optou-se pela utilização do *strain gauge*, considerado mais viável como uma adaptação metodológica frente ao cronograma do projeto pela simplicidade na otimização do sinal obtido pelo novo sensor.

Figura 1 – Desenho do protótipo



Fonte: Do próprio autor, 2025.

3.1 Programação

O dispositivo tem como principal funcionalidade a medição da deformação de um objeto acoplado à órtese por meio do sensor *strain gauge*. A partir da programação do microcontrolador, é realizada a calibração da força a ser exercida durante os movimentos e, com base nesses valores, ocorre o acionamento do atuador elétrico responsável por auxiliar na mobilidade do joelho.

Figura 2 – Programação

```
// Pino analógico do sensor FSR50N
const int pinFSR = A0;

// Pinos da ponte H
const int in1 = 8; // Avançar
const int in2 = 9; // Recuar

// Curso total do atuador (12 segundos)
const unsigned long tempoCursoTotal = 12000;

// Armazena posição atual do atuador em ms (0 a 12000)
unsigned long posicaoAtuador = 0;

// Posição alvo calculada pelo sensor
unsigned long posicaoAlvo = 0;

// Controle do tempo
unsigned long ultimoUpdate = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, LOW);

  ultimoUpdate = millis();
}

void loop() {
  unsigned long agora = millis();
  unsigned long dt = agora - ultimoUpdate;
  ultimoUpdate = agora;
```

```

// 1. Ler o sensor (0-1023)
int valorSensor = analogRead(pinFSR);

// 2. Converter para posição alvo (0-12000 ms de curso)
posicaoAlvo = map(valorSensor, 500, 950, 0, tempoCursoTotal);

// 3. Atualizar posição do atuador baseado no movimento
// (limitado para não passar do curso real)
if (digitalRead(in1) == HIGH) {
    posicaoAtuador += dt;
    if (posicaoAtuador > tempoCursoTotal) posicaoAtuador = tempoCursoTotal;
}
if (digitalRead(in2) == HIGH) {
    posicaoAtuador -= dt;
    if (posicaoAtuador < 0) posicaoAtuador = 0;
}

// 4. Comando proporcional
if (posicaoAtuador < posicaoAlvo - 100) {
    // avançar
    digitalWrite(in1, HIGH);
    digitalWrite(in2, LOW);
    Serial.println("Avançando proporcionalmente");
}
else if (posicaoAtuador > posicaoAlvo + 100) {
    // recuar
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, HIGH);
    Serial.println("Recuando proporcionalmente");
}
else {
    // já chegou
    digitalWrite(in1, LOW);
    digitalWrite(in2, LOW);
    Serial.println("Estável na posição alvo");
}

// Debug
Serial.print("Sensor: ");
Serial.print(valorSensor);
Serial.print(" Alvo(ms): ");
Serial.print(posicaoAlvo);
Serial.print(" Atual(ms): ");
Serial.println(posicaoAtuador);

delay(50);
}

```

Fonte: do Próprio Autor, 2025.

3.2 Processo de desenvolvimento

Figura 3 – Cronograma das atividades



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

O início do desenvolvimento deste trabalho exigiu um forte exercício de trabalho em equipe, no qual houve uma série de discussões colaborativas com o objetivo de definir o tema do projeto de acordo com os princípios estabelecidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas. Após análise e deliberação entre os integrantes, decidiu-se pela criação de um exoesqueleto para os membros inferiores, projeto este alinhado diretamente com o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e o ODS 10 (Redução das Desigualdades), pois busca oferecer suporte à mobilidade de pessoas com deficiência física ou mobilidade reduzida.

A partir da definição do tema, o grupo passou à etapa de brainstorming, promovendo o compartilhamento das melhores ideias e sugestões técnicas entre os membros, visando à elaboração do projeto de forma colaborativa e eficaz. Com base nas definições conceituais, organizamos um cronograma detalhado de atividades, distribuindo as tarefas de acordo com as etapas do desenvolvimento.

Em seguida, foram realizadas pesquisas aprofundadas sobre os aspectos técnicos do exoesqueleto, com ênfase em estudos sobre sistemas de atuação, sensores e mecanismos de suporte ortopédico. A partir dessas pesquisas, iniciou-se o levantamento dos materiais e componentes necessários para a construção do protótipo.

Com base nas informações obtidas, foram adquiridos os primeiros equipamentos. A equipe elaborou um esboço do projeto em papel, onde foram definidos os parâmetros iniciais de tamanho, disposição dos componentes e

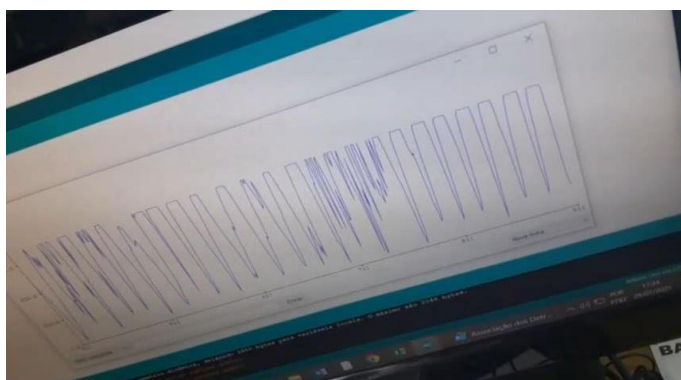
funcionalidades básicas. Um dos primeiros componentes a chegar foi o sensor EMG (eletromiografia), que possibilitou o início dos testes eletrônicos. Foram realizadas diversas simulações e estudos sobre o funcionamento do sensor, bem como sua inviabilidade na aplicação prática do exoesqueleto.

Figura 4 – Teste de funcionamento do sensor EMG



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

Figura 5 – Sinais obtidos pelo sensor EMG



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

Posteriormente, com a chegada da estrutura ortopédica de apoio e do atuador elétrico, foram iniciados as medições técnicas e os testes de integração entre os componentes, com o objetivo de assegurar a compatibilidade entre as partes mecânicas e eletrônicas do dispositivo. Essa etapa mostrou-se fundamental para o refinamento do projeto e para a realização dos ajustes necessários ao adequado funcionamento do protótipo.

Para definir o local de instalação do atuador na prótese de perna, foi utilizado um modelo geométrico que considera a coxa (22,7 cm) e a canela (34,3 cm) como barras ligadas pelo joelho. O atuador escolhido varia entre 32,5 cm e 52,5 cm e precisa funcionar em três posições principais: sentado (100°), andando inclinado (140°) e em pé (170°).

Os cálculos mostraram que a melhor posição é fixar o atuador a 22,6 cm do pivô na coxa e a 30,0 cm do pivô na canela. Assim, o atuador atinge aproximadamente 40,6 cm em 100°, 49,5 cm em 140° e 52,4 cm em 170°, todos dentro do limite de operação. Como em pé (170°) chega quase no máximo, existe a opção de recuar um pouco os pontos (22,0 cm na coxa e 29,0 cm na canela), o que dá mais folga, mas usa menos do curso total.

Portanto, o atuador deve ser instalado entre 22,0–22,6 cm na coxa e 29,0–30,0 cm na canela, medidos a partir do joelho. Dessa forma, o movimento é garantido em todas as posições e o sistema funciona de forma confiável.

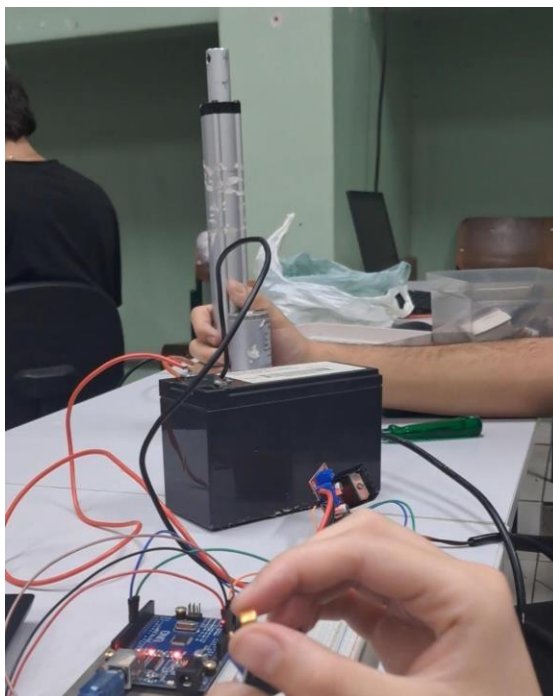
Figura 6 – Teste do funcionamento do protótipo



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

Durante essa fase, surgiu uma nova questão em relação ao sensor de eletromiografia (EMG), especificamente sobre a possibilidade de sintetizar o sinal obtido ou se eventuais inconsistências na leitura estavam relacionadas ao posicionamento dos eletrodos. Diante dessa dificuldade, considerou-se a adoção de uma alternativa mais viável dentro do cronograma estabelecido. Nesse contexto, o sensor *strain gauge* apresentou-se como a solução mais adequada, possibilitando a continuidade do desenvolvimento de outros setores do projeto.

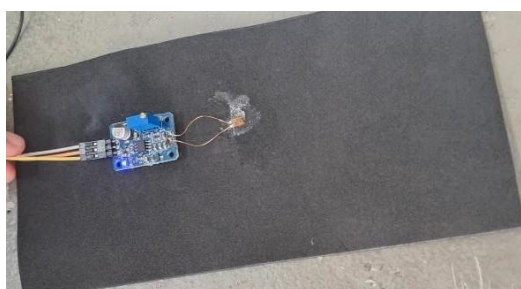
Figura 7 – Teste de funcionamento do *strain gauge*



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

Em razão do reduzido tamanho do sensor, verificou-se a necessidade de sua integração a um material complementar que possibilitasse a detecção das deformações. Inicialmente, avaliou-se a utilização de uma placa de acrílico; contudo, em virtude de sua elevada rigidez, o material apresentou fratura quando submetido a maiores ângulos de flexão, demonstrando-se inadequado para a aplicação proposta. Assim, foi decidido pela utilização de uma folha de EVA.

Figura 8 – Sensor *strain gauge* na folha EVA



Fonte: do Próprio Autor, 2025.

Paralelamente, foram conduzidos testes com o atuador elétrico, contemplando sua comunicação com a fonte de alimentação e com o microcontrolador. Após os devidos ensaios e ajustes, o sistema demonstrou funcionamento satisfatório.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos desafios enfrentados ao longo do desenvolvimento, o protótipo foi concluído conforme os objetivos estabelecidos inicialmente. Durante o processo, foram identificados aspectos que podem ser aprimorados em um modelo final, como o aumento da velocidade do atuador e a adaptação do dispositivo para o uso de uma bateria com menor tamanho e peso.

Além disso, algumas dificuldades demandaram modificações no projeto originalmente proposto, entre elas a substituição do sensor de eletromiografia por um *strain gauge* e a troca da placa de acrílico por material em EVA. Tais ajustes foram essenciais para a viabilidade do protótipo.

Portanto, o desenvolvimento deste trabalho mostrou-se de grande relevância para a formação acadêmica, pois permitiu o aprimoramento de conhecimentos técnicos, bem como de habilidades de trabalho em equipe e de resolução de problemas, contribuindo significativamente para a conclusão do curso.

REFERÊNCIAS

BATTISTELLA, Linamara Rizzo. Pesquisadores brasileiros avançam nos estudos sobre uso de exoesqueletos e IA na reabilitação física e neurológica. *G1*, 19 jan. 2025. Disponível em: <https://g1.globo.com/ciencia/noticia/2025/01/19/pesquisadores-brasileiros-avancam-nos-estudos-sobre-uso-de-exoesqueletos-e-ia-na-reabilitacao-fisica-e-neurologica.ghtml>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Artrite reumatoide e artrose (osteoartrite). Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/artrite-reumatoide-e-artrose-osteoartrite/>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DA SILVA, Igor Gabriel Siqueira Ribeiro; MOURA, Camila Beatriz de Sousa; DE SOUSA, Izabelle Macedo. A eficácia do uso de exoesqueleto robótico na reabilitação da marcha pós acidente vascular encefálico. *Brazilian Journal of Case Reports*, v. 2, n. Suppl. 3, p. 1073–1077, 2022.

SAMPAIO, Dafne. Como o exoesqueleto está sendo usado para a reabilitação de pacientes? *Portal Drauzio Varella*, 14 dez. 2023. Disponível em: <https://drauziovarella.uol.com.br/ortopedia/como-o-exoesqueleto-esta-sendo-usado-para-a-reabilitacao-de-pacientes/>. Acesso em: 21 out. 2025.

SIEGLE, Cristhina Bonilha Huster et al. Effects of robotic intervention associated with conventional therapy on gait speed and resistance and trunk control in stroke patients. *Acta Fisiátrica*, v. 26, n. 3, p. 127–129, 2019.

TANG, Xinyao et al. A wearable lower limb exoskeleton: Reducing the energy cost of human movement. *Micromachines*, v. 13, n. 6, p. 900, 2022.