

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA



**ANDREOS CRUZ DA SILVA
GABRIELLI SOARES PEREIRA
PEDRO MÜLLER FARIAS**

SÃO LEOPOLDO
2025

ANDREOS CRUZ DA SILVA

GABRIELLI SOARES PEREIRA

PEDRO MÜLLER FARIAS

DART

DISPOSITIVO AUTOMATIZADO DE REABILITAÇÃO DO TENDÃO CALCÂNEO

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Gilberto Fetzner Filho e coorientação do professor Aurélio de Andrade.

SÃO LEOPOLDO

2025

RESUMO

Este projeto tem como objetivo melhorar a manutenção da qualidade de vida de pessoas com mobilidade reduzida que perderam parcial ou totalmente o movimento dos membros inferiores, prevenindo complicações como atrofia muscular e problemas circulatórios. O acesso a estímulos mecânicos regulares pode ser limitado por diversos fatores. Diante desse cenário, o projeto propõe o desenvolvimento de um protótipo automatizado para auxiliar na movimentação dos membros inferiores. O dispositivo será programado para realizar movimentos repetitivos que contribuam para a ativação da panturrilha. O foco será na reabilitação do tendão calcâneo, essencial para a flexão plantar e que sofre degeneração com a falta de uso contínuo. A proposta envolve o uso de tecnologia simples e eficaz, com estrutura adaptável para permitir a execução dos movimentos tanto em pé quanto sentado, proporcionando maior versatilidade e conforto. O sistema será operado por um controle remoto manual que permite a escolha da velocidade e dos tipos de movimentos realizados durante a prática.

Palavras-chave: reabilitação; mobilidade; automação; acessibilidade; prevenção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ruptura do Tendão Calcâneo	12
Figura 2 – Estrutura do Tendão Calcâneo	14
Figura 3 – Plexo Lombossacral	16
Figura 4 – Anatomia Venosa do Membro Inferior	18
Figura 5 – Anatomia da Panturrilha	19
Figura 6 – Tendinite do Calcâneo	20
Figura 7 – Tendinopatia do Tendão de Aquiles	23
Figura 8 – Motor de Passo	26
Figura 9 – Motor de Passo com Driver	28
Figura 10 – Arduino Uno	29
Figura 11 – Jumpers Macho/Fêmea	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma

14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVED	Associação Brasileira das Empresas de Vendas Diretas
ALCA	Aliança de Livre Comércio das Américas
BSR	Business for Social Responsibility
FGV	Fundação Getulio Vargas
IBASE	Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas
ONGs	Organizações Não-Governamentais
OSC	Organização da Sociedade Civil
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentora

LISTA DE SÍMBOLOS

W	Watt
N	Newton
Hz	Hertz

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	9
1.2 PROBLEMA	9
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.4 JUSTIFICATIVA	10
2. ESTADO DA ARTE	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
4. METODOLOGIA	13
4.1 TIPO DE PESQUISA	13
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	13
4.3 ESQUEMA ELÉTRICO	13
4.4 PROGRAMAÇÃO	13
5. CRONOGRAMA	14
6. RECURSOS	16
7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS	17
REFERÊNCIAS	18
ANEXOS	19

1. INTRODUÇÃO

O dano no tendão calcâneo pode afetar significativamente a mobilidade das pessoas, especialmente em relação aos membros inferiores. As causas são diversas, como doenças agudas, acidentes, paralisias e quedas. Resultando em perda de massa muscular e atrofia.

A disfunção causada por acidentes pode ser reversível e tratada com o decorrer do tempo, por meio de exercícios físicos repetitivos que estimulam os membros afetados, porém em casos de doenças neurológicas ou muito graves, estes exercícios não ajudam na não-regressão da doença.

Portanto, este projeto foi criado com base em um dispositivo que auxilie o usuário a projetar a atividade de flexão e contração da panturrilha e combinado com o movimento da coxa enquanto a pessoa permanece sentada ou levantada, no momento em que o pé faz dorsiflexão e a flexão plantar para estimular os movimentos da panturrilha. Quando a perna sobe a parte posterior da coxa é alongada, sendo ativado o músculo Isquiotibiais (que incluem o bíceps femoral, semitendíneo e semimembranoso). Esses músculos ficam mais esticados porque normalmente ajudam a puxar a perna para trás, mas agora estão sendo alongados. Quando a perna descer a parte anterior da coxa é alongada ativando o reto femoral (parte do quadríceps). Esse músculo flexiona o quadril, então quando a perna volta para baixo, ele é esticado.

1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Dispositivo automatizado para reabilitação do tendão calcâneo e prevenção de escaras na parte inferior da coxa.

1.2 PROBLEMA

É possível desenvolver um dispositivo automatizado para reabilitação do tendão calcâneo e prevenção de escaras na parte inferior da coxa?

1.3 OBJETIVOS

1.3 Objetivo Geral

Criar um dispositivo automatizado, que seja capaz de auxiliar pacientes nos exercícios diários de extensão e flexão do tendão calcâneo e movimentação da parte inferior da coxa enquanto o paciente repousa em uma cadeira, o que ajuda a manter a flexibilidade, exercitar a panturrilha e movimentar a coxa, prevenindo atrofias, rigidez articular e contraturas, problemas que surgem pela falta de movimento voluntário nas pernas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um sistema comandado por uma placa de Arduino Uno.
- Utilizar materiais de plástico e metais leves.
- Avaliar os fatores estéticos, praticidade e custo do dispositivo.

- Realizar simulações dos movimentos para análise ergonômica.
- Inserir um controle de velocidade e alcance do movimento.
- Implementar um sistema de ajuste nos movimentos.

1.4 JUSTIFICATIVA

O tendão calcâneo, conhecido como tendão de Aquiles, conecta os músculos da panturrilha (gastrocnêmio e sóleo) ao osso do calcanhar, sendo o principal responsável pela flexão plantar do pé, movimento essencial para caminhar, correr, subir escadas, manter o equilíbrio e sustentar o peso do corpo. Por isso, a panturrilha e seu tendão são considerados estruturas fundamentais para a locomoção e autonomia das pessoas. Quando ocorre uma lesão nessa região, como rupturas ou inflamações, a mobilidade do indivíduo é severamente comprometida, dificultando atividades simples do dia a dia. Além disso, a falta de tratamento adequado pode gerar complicações secundárias, como dores crônicas e perda de força muscular. Apesar da relevância, a reabilitação do tendão calcâneo enfrenta barreiras: número limitado de fisioterapeutas especializados, custos elevados de sessões de reabilitação e dificuldades de deslocamento até centros de saúde. Muitos pacientes, especialmente idosos e pessoas com mobilidade reduzida, acabam interrompendo o tratamento, o que prolonga o tempo de recuperação e aumenta o risco de novas lesões. Diante desse contexto, o desenvolvimento de um dispositivo automatizado de fisioterapia voltado para a reabilitação do tendão calcâneo mostra-se necessário. Esse recurso pode auxiliar nos exercícios de forma acessível, contínua e segura, além de contribuir na prevenção de escaras na região inferior da coxa, favorecendo tanto a recuperação física quanto a qualidade de vida do paciente.

2. ESTADO DA ARTE

Para a elaboração deste capítulo, foram realizadas buscas na base de dados do Google Acadêmico, onde foram identificados artigos relacionados ao projeto. A pesquisa foi conduzida a partir de termos como membros inferiores; circulação sanguínea; automação; acessibilidade; reabilitação. Diversos estudos abordaram essa temática, sendo os mais relevantes selecionados e organizados na tabela a seguir.

Tabela 2 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
DECS - Dispositivo Estimulador de Circulação Sanguínea para Prevenção da Trombose Venosa Profunda em Pessoas Paraplégicas - Fase II	Bryan Theobald Evelyn Placinsch Karla Pelissari	2024
EMI - Eletroestimulador para Membros Inferiores	Alan Laça da Veiga Eduarda Braescher Moraes Henrique Gabriel de Mello Pisaroglo	2024
WRAP MASSAGER - Estimulador de circulação sanguínea	Gabriel dos Santos Oliveira Kauane Cristina Silva dos Santos	2022

O projeto DECS – Dispositivo Estimulador de Circulação Sanguínea para Prevenção da Trombose Venosa Profunda em Pessoas Paraplégicas – Fase II (2024) tem como objetivo desenvolver um equipamento portátil e automatizado capaz de estimular a circulação sanguínea nos membros inferiores de pessoas com paraplegia, prevenindo a Trombose Venosa Profunda (TVP), condição grave que pode levar à embolia pulmonar e está diretamente relacionada à falta de mobilidade. Sua relevância está no fato de oferecer uma solução acessível, segura e de fácil utilização, que pode ser aplicada tanto em casa quanto em centros de reabilitação, diminuindo custos hospitalares e melhorando a qualidade de vida dos pacientes. O dispositivo é construído com um microcontrolador (Arduino), que faz o controle lógico do sistema, atuadores como motores, solenóides ou eletrodos de estimulação elétrica, que aplicam estímulos na panturrilha para simular sua contração, sensores de pressão, movimento ou corrente, que monitoram a intensidade e o tempo de uso para garantir segurança, além de uma interface de controle com botões, display ou aplicativo para regulação dos parâmetros de funcionamento. O sistema é alimentado por uma bateria recarregável, o que garante praticidade e mobilidade ao usuário. O projeto DECS é voltado especificamente para a prevenção da Trombose Venosa Profunda, enquanto o projeto DART tem foco na reabilitação do tendão calcâneo e na ativação da panturrilha, além de utilizar atuadores como motores e eletrodos de estimulação elétrica, diferentemente do projeto DART, que se baseia em movimentos mecânicos repetitivos. Ambos os projetos utilizam microcontroladores para o controle lógico do sistema, mas DART se destaca pelo uso do Arduino Uno, que possui versatilidade e facilidade de programação. O projeto EMI – Eletroestimulador para Membros Inferiores (2024) tem como objetivo desenvolver um equipamento capaz de auxiliar na reabilitação muscular por meio da estimulação elétrica, estimulando os músculos dos membros inferiores para melhorar a circulação sanguínea, fortalecer a musculatura e reduzir complicações decorrentes da imobilidade. Sua relevância está no fato de que muitos pacientes com limitações motoras, como paraplégicos ou pessoas em recuperação de lesões, enfrentam dificuldades de acesso à fisioterapia contínua, seja pelo alto custo ou pela falta de disponibilidade de profissionais. Assim, o dispositivo surge como uma alternativa acessível e eficiente, permitindo maior autonomia e segurança no

processo de reabilitação. O funcionamento do EMI é baseado em um microcontrolador (Arduino) que controla os estímulos elétricos enviados por meio de eletrodos posicionados na pele do paciente, responsáveis por provocar a contração muscular. Para garantir eficiência e segurança, o equipamento conta com sensores de corrente e tensão, que monitoram a intensidade do estímulo, além de uma interface de controle composta por botões, display ou aplicativo, que permite ao usuário ou cuidador ajustar parâmetros como tempo de aplicação, intensidade e frequência da estimulação. O dispositivo é alimentado por uma fonte de energia portátil ou bateria recarregável, possibilitando mobilidade e uso em diferentes ambientes. O que diferencia o projeto EMI para o projeto DART é o foco em estímulos elétricos para provocar contrações musculares, enquanto DART se concentra em movimentos mecânicos, visando a reabilitação específica do tendão calcâneo. Ambos projetos utilizam microcontroladores, mas DART se diferencia ao aderir jumpers, que facilitam as conexões entre os componentes, permitindo uma montagem mais flexível e adaptável. O projeto WRAP MASSAGER – Estimulador de Circulação Sanguínea (2023) tem como objetivo desenvolver um dispositivo capaz de melhorar a circulação nos membros inferiores, utilizando estímulos mecânicos ou vibratórios para simular a ação natural da musculatura e auxiliar na prevenção de complicações como inchaços, trombozes e dores relacionadas à má circulação. Sua relevância se dá pelo fato de oferecer uma solução acessível e prática para pessoas com mobilidade reduzida ou que passam longos períodos sentadas, contribuindo para a saúde vascular e a melhora da qualidade de vida. O dispositivo é composto por atuadores mecânicos ou vibratórios, que aplicam estímulos nos músculos da panturrilha e região inferior das pernas, simulando a contração muscular; microcontrolador (Arduino ou similar), que regula a intensidade, frequência e duração dos estímulos; sensores de pressão ou movimento, que monitoram a eficácia da estimulação e garantem segurança; e uma interface de controle com botões ou display, permitindo ajustes pelo usuário. O sistema é alimentado por bateria recarregável, garantindo mobilidade e facilidade de uso em diferentes ambientes. O projeto WRAP MASSAGER utiliza estímulos mecânicos ou vibratórios para melhorar a circulação, enquanto o projeto DART tem total foco em movimentos mecânicos repetitivos específicos para a panturrilha. Embora o WRAP MASSAGER tenha um foco mais amplo na saúde vascular, DART é mais específico na reabilitação do tendão calcâneo e na ativação da musculatura

da panturrilha. Ambos os projetos, assim como o projeto DECS e o projeto EMI, também podem fazer a utilização de microcontroladores para regular a intensidade e a duração dos estímulos, mas o uso de um motor de passo no projeto DART permite uma execução controlada e bastante precisa dos movimentos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LESÃO DO TENDÃO CALCÂNEO

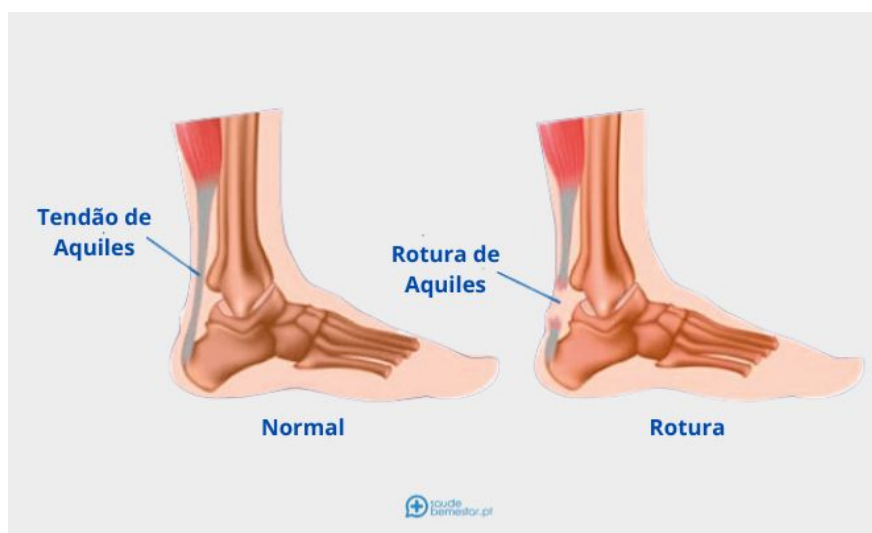
As dores e lesões do Tendão de Aquiles ou tendão calcâneo são uma das principais queixas que levam as pessoas a procurar ajuda de especialistas nas clínicas de ortopedia. Se localiza atrás do tornozelo e liga os músculos da panturrilha (batata da perna) ao osso do calcanhar. É comprovadamente pela biomecânica a estrutura que mais suporta força no corpo humano, recebendo grande quantidade de carga e sendo muito exigido na locomoção, atividades físicas e esportivas. Por esse motivo, atletas profissionais e também atletas de fim de semana tendem a lesionar a região com bastante frequência, seja devido a um estiramento, esforço repetitivo ou excesso de exercício, o que leva à inflamação e até mesmo rompimento do tendão. Há ainda casos em que o tipo de pisada e outras condições anatômicas, como fraqueza muscular, uso de calçados inadequados, levam a sobrecarga e inflamação nessa região. (Orthop, 2025)

"A ruptura do tendão do calcâneo, popularmente chamado de tendão de Aquiles, causa a divisão completa do tendão em dois segmentos independentes, comprometendo seriamente a capacidade de movimentar pés e pernas" (VARELLA BRUNA, 2019).

As principais queixas que indicam uma lesão no local são a dor de moderada a intensa localizada na parte de trás do calcanhar, que sobe para perna, e também dificuldades para colocar os pés no chão, dobrar ou empurrar o pé ou mesmo de andar. Pode ainda haver inchaço ou alteração na cor da pele no entorno do local, como hematomas. No caso específico de ruptura do tendão, é comum as pessoas relatarem que ouviram também barulho, como um estalo. "As lesões nos membros inferiores estão relacionadas principalmente ao impacto, à sobrecarga ou ao esforço repetitivo. Essas situações exigem muito de estruturas como os tendões, ligamentos e articulações que não estão com a musculatura forte o suficiente para dissipar ou suportar energia", explica o Dr. Gustavo Maximiano, especialista em pé e tornozelo. (Orthop, 2025)

O diagnóstico mais comum da dor atrás do calcanhar é a tendinite, que é justamente a inflamação deste tendão. Se não tratada adequadamente, pode evoluir para uma degeneração, conhecida também como tendinopatia, e que pode provocar até a ruptura da estrutura. A gravidade da lesão do Tendão de Aquiles deve ser feita por um especialista que, após realizar o exame físico para verificar o movimento e a estrutura do tendão, indicará o melhor tratamento, que pode ser desde repouso, imobilização e até mesmo a identificação de necessidade de cirurgia. Com auxílio da medicina de diagnóstico por imagem, como raio-X, ressonância magnéticas ou outras modalidades de exames, o médico terá segurança para diagnosticar com clareza a gravidade da lesão. (Orthop, 2025)

Figura 1 - Ruptura do Tendão Calcâneo



Fonte: Saudebemestar.pt (2022).

As rupturas do Tendão Calcâneo são responsáveis por 10,7% de todas as lesões de tendões e ligamentos, com uma incidência anual de 8 casos por 100.000 pessoas, afetando predominantemente homens (79,2%) e ocorrendo principalmente durante esportes (65,2%). As rupturas agudas do tendão geralmente resultam de impactos de alta carga, como dorsiflexão rápida do tornozelo com o quadril e o joelho estendidos. Até 90% das rupturas do tendão relacionadas a esportes são causadas por mecanismos de aceleração-desaceleração. A incidência de rupturas do tendão aumentou notavelmente em atletas competitivos, com um aumento de 3 a 5 vezes na NFL

nos últimos 25 anos, incluindo 24 casos na temporada de 2023-2024. Chan et al. 2024 relataram uma taxa significativamente maior de lesões do tendão na ginástica feminina (16,73/100.000 exposições de atletas) em comparação com outros esportes. Relatos de até 46% dos indivíduos com ruptura do tendão tinham histórico de dor ou tendinopatia do tendão, complicando o tratamento do paciente. (IJSPT, 2024)

3.2 ANATOMIA

3.2.1 ESTRUTURA

A estrutura espessa e robusta desempenha papéis cruciais na transferência de tensão durante atividades físicas. O tendão pode suportar cargas enormes, chegando a 11 vezes o peso corporal durante atividades esportivas, como corridas de alta velocidade e 15 vezes o peso corporal em aterrissagens de ginástica. Uma compreensão completa da anatomia e biomecânica envolvidas é necessária para orientar a reabilitação pós-operatória. Os principais fatores anatômicos incluem, mas não estão limitados a:

Espessura e Robustez: A estrutura do tendão é essencial para suportar altas cargas e transferência de tensão. Uma maior área transversal (AST) após a ruptura melhora a capacidade de carga do tendão. Zellers et al. 2019 descobriram que a AST 12 semanas após a operação foi o preditor mais forte do índice de simetria do membro (LSI) no teste de elevação do calcanhar em 52 semanas, correlacionando-se com uma recuperação funcional superior.

Estrutura de Torção: A estrutura de torção do Tendão Calcâneo é parte integrante de sua anatomia. O tendão gira aproximadamente 90 graus lateralmente, do meio da panturrilha até sua inserção no calcâneo posterior. Essa torção afeta a transferência de tensão e a contribuição muscular com base na orientação da perna (por exemplo, inversão e reversão).

Propriedades Viscoelásticas: Viscosidade e elasticidade contribuem para o papel do tendão na absorção e transmissão de força. A elasticidade do tendão é importante para o armazenamento e liberação de energia durante as atividades do ciclo de alongamento-encurtamento (CLE), enquanto a viscosidade é importante na absorção de força. A cicatrização e a maturação do tendão, para permitir a

restauração dessas propriedades, são cruciais para a restauração da função do tendão. (IJSP, 2024)

Figura 2 - Estrutura do Tendão Calcâneo



Fonte: Repositório.ufu.br (2021)

3.2.2 SISTEMA NERVOSO

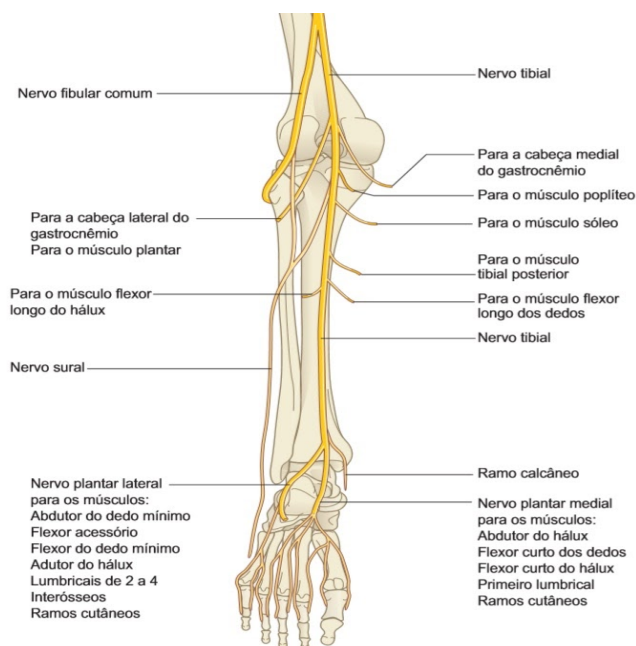
As atividades locomotoras, como ficar em pé, caminhar e saltar, dependem da integração entre os sistemas musculoesquelético, articular, nervoso e vascular dos membros inferiores, garantindo coordenação, estabilidade e controle postural.

Os músculos — como quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmios — atuam de forma conjunta para gerar força e propulsão, enquanto ossos e articulações (fêmur, tíbia, joelho e tornozelo) oferecem suporte e mobilidade. O sistema nervoso periférico, por meio dos nervos ciático, femoral e tibial, conduz impulsos motores e sensitivos que permitem o controle preciso dos movimentos e a percepção corporal.

O sistema vascular, representado principalmente pela artéria femoral e seus ramos (femoral profunda, poplítea, tibiais e fibular), assegura o suprimento sanguíneo a músculos e articulações. Na região distal, vasos como a artéria dorsal do pé e as artérias plantares mantêm a irrigação do tornozelo e do pé.

Essa rede vascular e neural interligada sustenta o funcionamento coordenado dos membros inferiores, essencial para o movimento e o equilíbrio corporal.

Figura 3 - Plexo Lombossacral



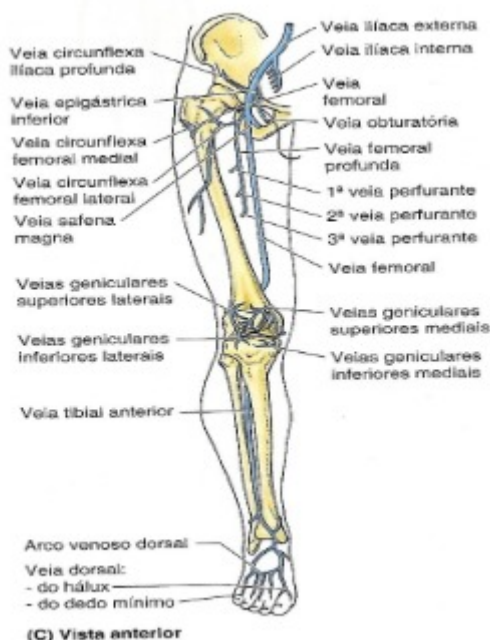
Fonte: Anatomia e Fisioterapia (2010)

3.2.3 SISTEMA VENOSO

O sistema venoso do membro inferior está dividido em superficial e profundo, ambos responsáveis pelo retorno do sangue ao coração. O sistema venoso superficial começa nas redes venosas dorsal e plantar dos pés. Essas redes drenam o sangue para veias marginais e metatarsais, que convergem para duas grandes veias: a veia safena parva, que desemboca na veia poplítea, e a veia safena magna, que drena diretamente na veia femoral. Essas veias são frequentemente visíveis sob a pele e importantes em procedimentos cirúrgicos e diagnósticos. Já o sistema venoso profundo é responsável pela drenagem mais eficiente e profunda dos tecidos. Ele começa nas veias digitais e metatarsais, que se unem nos arcos venosos profundos plantar e dorsal. Desses arcos partem as veias tibiais anterior e posterior, além das veias fibulares (ou peroneais), que se unem na veia poplítea. A veia poplítea segue em direção à coxa e continua como veia femoral. A inervação do membro inferior tem origem no plexo lombossacral,

uma complexa rede de nervos que se ramifica para alcançar todas as regiões da extremidade. Esses nervos controlam os movimentos voluntários e transmitem sensações como dor, calor e pressão. Na região do quadril e da coxa, os principais nervos são o nervo femoral, o nervo safeno, os nervos cutâneos femoral lateral e posterior, o nervo obturador, os nervos glúteos superior e inferior, além dos nervos clúneos (superior, medial e inferior), responsáveis pela sensibilidade da região glútea. O joelho e a perna são inervados por ramos geniculares (superior, médio e inferior), além do nervo fibular comum, que se divide em fibular superficial e fibular profundo. O nervo tibial também está presente e percorre a parte posterior da perna, sendo essencial para a função motora e sensitiva. No tornozelo e no pé, a inervação inclui os nervos digitais dorsais, os nervos digitais plantares próprios, o nervo cutâneo dorsal lateral e os nervos plantares medial e lateral. Eles garantem o controle motor fino e a sensibilidade das plantas e dorsos dos pés.

Figura 4 - Anatomia Venosa do Membro Inferior



Fonte: UEPG (2025)

3.2.4 TENDÃO CALCÂNEO

O tendão calcâneo origina-se como uma ampla bainha aponeurótica da extremidade distal do músculo gastrocnêmio. Depois, ele se dirige inferiormente, gradualmente assumindo uma forma mais arredondada. As fibras do músculo sóleo juntam-se ao tendão cerca de 4 centímetros proximalmente à articulação do tornozelo. Finalmente, o tendão passa sobre a articulação do tornozelo e se insere na superfície posterior do calcâneo. (KENHUB, 2023)

As fibras do tendão não correm exclusivamente no sentido vertical à medida que descem; em vez disso, elas assumem uma trajetória espiral lateralmente de até 90 graus a partir da união das fibras do músculo sóleo com o tendão. Isso faz com que as fibras do sóleo se insiram medialmente e as fibras do gastrocnêmio se insiram lateralmente na superfície de inserção do calcâneo. Às vezes, o tendão do músculo plantar se funde com o tendão de Aquiles, enquanto em outros casos ele se insere separadamente na aponeurose plantar. (KENHUB, 2023)

O tendão de Aquiles é innervado pelo nervo sural. Note que o nervo sural cruza a metade superior da borda lateral do tendão, sendo esse um local comum de lesão do nervo durante procedimentos cirúrgicos. A vascularização do tendão provém de duas fontes: os terços proximal e distal são vascularizados pela artéria tibial posterior, enquanto seu terço médio é vascularizado pela artéria fibular. (KENHUB, 2023)

Figura 5 - Anatomia da Panturrilha



Fonte: Clínica e Cirurgia do Pé e Tornozelo (2025)

3.4 LESÕES

3.4.1 TENDINITE DE AQUILES

insercional, aquela que acontece na região onde o tendão se insere no osso e a não insercional, que está relacionada a inflamação e degeneração no corpo do tendão, como mostram as imagens de ressonância magnética na figura abaixo. A tendinopatia insercional tende a ocorrer em pessoas mais ativas, enquanto a lesão não insercional do tendão tende a ocorrer em pessoas idosas. Tendinite do Tendão de Aquiles (crônica) é mais comum em indivíduos idosos do que na população mais jovem. Essa lesão é classicamente dividida em 2 tipos principais, a tendinopatia lhas, menos ativas e com excesso de peso. (MACEDO, Rodrigo. Tendinites do Tendão de Aquiles)

Figura 6 - Tendinite do Calcâneo



Fonte: Ondas de Choque (2025)

3.4.2 TENDINOPATIA DO TENDÃO DE AQUILES

A ruptura parcial ocorre quando há uma lesão incompleta nas fibras do tendão, geralmente como consequência de uma sobrecarga repentina em um tendão já enfraquecido. O paciente pode sentir uma dor aguda no momento da lesão, seguida de dificuldade para caminhar, inchaço e sensibilidade local. Apesar de o tendão ainda estar parcialmente intacto, a força na flexão plantar é reduzida.

Essa lesão pode ser confundida com uma tendinite grave, sendo necessário exame clínico e, frequentemente, imagem por ultrassonografia ou ressonância magnética para o diagnóstico correto.

3.4.4 RUPTURA TOTAL DO TENDÃO DE AQUILES

A ruptura completa do tendão de Aquiles é uma lesão grave que geralmente ocorre durante atividades esportivas que exigem aceleração ou saltos, como futebol, basquete ou tênis. O indivíduo normalmente descreve a sensação de um estalo súbito, como se tivesse sido atingido na perna, seguida de dor intensa e imediata dificuldade para caminhar ou ficar na ponta dos pés. Visualmente, pode-se observar um afundamento na região do tendão e perda da continuidade muscular. O tratamento pode ser cirúrgico ou conservador, dependendo da idade, grau de atividade e extensão da lesão, mas sempre exige fisioterapia prolongada.

3.4.5 SÍNDROME DE HAGLUND

A síndrome de Haglund ou deformidade de Haglund é uma alteração do osso e dos tecidos no pé, caracterizado pela presença de uma pontinha óssea na parte superior do calcanhar que leva ao desenvolvimento de uma inflamação nos tecidos à sua volta, entre o calcanhar e o tendão de Aquiles, podendo causar bursite. Geralmente, a síndrome de Haglund é mais comum em mulheres jovens, principalmente por causa do uso de sapatos altos apertados, embora também possa se desenvolver nos homens, causando sintomas como dor, inchaço ou vermelhidão no calcanhar. (Tua Saúde, 2023)

3.4.6 BURSITE RETROCALCÂNEA

Bursas são pequenas “bolsas” cheias de líquido, que agem como amortecedores, aliviando o atrito entre os ossos, tendões e músculos, e dessa forma protegem nosso corpo contra possíveis danos. O processo inflamatório de uma bursa é chamado de bursite. A bursite retrocalcânea, por sua vez, está localizada entre o calcanhar e o tendão calcâneo (popular tendão de Aquiles), e devido ao excesso de carga ou a traumas repetitivos no calcanhar, essa bursa

pode inflamar, desencadeando uma condição conhecida como “bursite retrocalcânea”.

3.5 TRATAMENTO E DIAGNÓSTICO

As lesões no tendão calcâneo, também conhecido como tendão de Aquiles, representam um dos problemas mais comuns e desafiadores da medicina esportiva e ortopédica. Esse tendão, responsável por transmitir a força dos músculos da panturrilha ao osso do calcanhar, é essencial para ações básicas como caminhar, correr, pular e manter o equilíbrio. Quando lesionado, compromete significativamente a locomoção e a qualidade de vida do indivíduo. O tratamento para essas lesões é bastante variado e depende de fatores como o tipo e a gravidade da lesão, o tempo de evolução dos sintomas, o nível de atividade física do paciente e suas condições clínicas gerais.

As abordagens terapêuticas vão desde medidas simples e conservadoras até intervenções cirúrgicas mais complexas. O primeiro passo geralmente envolve repouso e modificação das atividades, evitando qualquer movimento ou prática esportiva que agrave a dor ou a inflamação. Atividades de impacto devem ser suspensas temporariamente, e, em seu lugar, são indicadas opções de baixo impacto, como natação ou bicicleta ergométrica, para manter o condicionamento físico sem sobrecarregar o tendão.

Figura 7 - Tendinopatia do Tendão de Aquiles



Fonte: Dr. Alejandro Zoboli (2020)

3.5.1 TENDINITE DE AQUILES

Nas tendinites do tendão de Aquiles, o diagnóstico é predominantemente clínico. O paciente costuma relatar dor progressiva na parte posterior da perna,

especialmente durante a atividade física ou após períodos de repouso, como ao se levantar pela manhã. O médico, ao examinar, observa inchaço, calor local, sensibilidade ao toque e dor à palpação direta sobre o tendão, principalmente a alguns centímetros acima da inserção no calcânhar. Em casos persistentes, a ultrassonografia pode ser solicitada para confirmar a inflamação e avaliar o espessamento do tendão. A ressonância magnética também pode ser usada para verificar o grau de comprometimento, principalmente se houver suspeita de lesões associadas.

3.5.2 TENDINOPATIA DO TENDÃO CALCÂNEO

O diagnóstico é feito pelo exame clínico junto ao ortopedista que faz uma avaliação, além de uma análise no histórico do paciente. Como complemento, exames ultrassonográficos são realizados para compreender melhor o quadro.

Por conta da zona crítica ser uma região pouco vascularizada, os tratamentos tendem a ser um pouco mais demorados e com maiores chances de complicações. Na zona insercional, as melhores respostas são as medidas de analgesia medicamentosa, gelo, elevação da parte posterior do pé com o uso de uma calcanheira/palmilha corretiva, repouso e até mesmo a imobilização com botas tipo robofoot. Em casos refratários a intervenção é necessária e podem ser indicadas terapias regenerativas como agulhamento seco, infiltrações (em caso de bursites), eletrólise percutânea, terapia de onda de choque, PRP – não liberado ainda no Brasil, mas feito muito na Europa e EUA; aspirado de células mesenquimais ou de medula óssea. (CAMPANHOLI, Gustavo. Ruptura do tendão de Aquiles).

3.5.3 RUPTURA PARCIAL DO TENDÃO DE AQUILES

O diagnóstico da ruptura parcial é mais desafiador. O paciente geralmente relata dor súbita ao esforço, mas ainda consegue caminhar. O exame físico pode mostrar dor localizada, hematoma e sensibilidade aumentada. A ressonância magnética ou a ultrassonografia são fundamentais para confirmar a extensão da lesão e diferenciar de uma tendinose grave. O tratamento pode ser conservador, especialmente em lesões menores. Envolve imobilização parcial com bota ortopédica, seguida de fisioterapia cuidadosa, com fortalecimento progressivo e

controle da carga. O tempo de recuperação varia de 8 a 12 semanas. Casos com lesões mais extensas ou pacientes com alto nível de atividade física podem ser candidatos a tratamento cirúrgico minimamente invasivo.

3.5.4 RUPTURA TOTAL DO TENDÃO DE AQUILES

A ruptura completa é diagnosticada por meio do relato típico do paciente de um estalo ou sensação de golpe na parte de trás da perna, seguido de dor e dificuldade imediata para andar. O teste de Thompson (em que o médico aperta a panturrilha e observa a ausência de flexão plantar) é altamente confiável. A ressonância magnética confirma a ruptura e determina o grau de retração do tendão. O tratamento pode ser cirúrgico ou conservador, dependendo da idade, nível de atividade e condições do paciente. Em indivíduos jovens e ativos, a cirurgia oferece menor risco de nova ruptura e melhor recuperação da força. Já o tratamento conservador, com bota imobilizadora em posição equina (pé apontado para baixo), seguido de fisioterapia intensiva, pode ser eficaz em pacientes menos ativos.

3.6 COMPONENTES

3.6.1 MOTOR DE PASSO

O motor de passo é um tipo de motor elétrico que gira em pequenos passos fixos, permitindo um controle muito preciso da posição, da velocidade e da direção. Cada passo tem um ângulo definido, como por exemplo 1,8 graus. Por isso, ele é ideal para aplicações em que é necessário controlar exatamente o quanto o motor deve girar. Um exemplo comum é em uma impressora 3D, onde o motor de passo move o bico injetor com precisão para formar cada camada da peça.

Figura 8 - Motor de Passo



Fonte: AUTOCORE Robótica (2025)

O motor de passo pode ser controlado de diferentes formas, dependendo do tipo de aplicação. Com Arduino: É uma opção prática para projetos didáticos, escolares ou de prototipagem. O Arduino possui bibliotecas próprias que facilitam a programação do motor. Por exemplo, é possível usar um Arduino Uno para girar um motor NEMA 17 em pequenos passos e controlar a posição de um carrinho. Com Driver de Potência: Em aplicações industriais, o controle é feito com drivers de potência, que permitem o uso de micro-passo, controle de corrente e maior desempenho. Por exemplo, uma máquina CNC pode usar um motor NEMA 23 com driver DRV8825 para controlar os movimentos de corte com precisão.

A resolução de um motor de passo é a medida do ângulo que o motor gira a cada passo. Para calcular, basta dividir 360 graus pelo número de passos por volta.

Trata-se de um motor unipolar compacto, leve e de baixo custo, que se destaca pela precisão no controle de ângulo e pelo fácil acionamento em sistemas microcontrolados. Por ser um motor que exige uma corrente elétrica superior àquela fornecida por microcontroladores como o Arduino, o uso do driver ULN2003 é essencial. O driver atua como uma ponte intermediária, recebendo os sinais do microcontrolador e fornecendo a corrente necessária para o funcionamento adequado do motor.

O motor funciona com 4 fases e 5 fios, o que permite seu controle em diferentes modos de acionamento. Com isso, é possível ajustar a direção e a velocidade de rotação do eixo com boa precisão. Essa característica o torna adequado para projetos de controle de posição, como braços robóticos, sistemas de abertura e fechamento, pequenos eixos rotativos e mecanismos automáticos. Além disso, o 28BYJ-48 possui uma caixa de redução integrada com relação 1:64, o que significa que o motor interno realiza 64 rotações para cada volta completa do eixo de saída

- Figura 9 - Motor de Passo com Driver
- Fonte: USINAINFO (2025)
- Especificações Técnicas:
- Tensão de operação: 5VDC
- Tipo de motor: Unipolar
- Número de fases: 4
- Número de fios: 5
- Resistência por fase: 60 ohms
- Torque máximo: 2,2 kgf.cm
- Ângulo de passo: 5,625° por passo interno
- Redução: 1/64 (resultado final: 0,0879° por passo no eixo de saída)
- Extensão dos fios: 24 cm
- Diâmetro do motor: 28 mm
- Diâmetro do eixo: 5 mm
- Peso: 41 g

3.6.2 ARDUINO UNO

A plataforma Arduino possui diversas placas que se diferenciam em capacidade de memória, velocidade de processamento, número de pinos e conectividade. Entre os modelos mais populares estão:

- Arduino Uno

É o modelo mais utilizado por iniciantes. Possui 14 pinos digitais, 6 entradas analógicas e usa o microcontrolador ATmega328P.

- Arduino Leonardo

Diferencia-se por possuir interface USB nativa, podendo emular dispositivos como teclado e mouse.

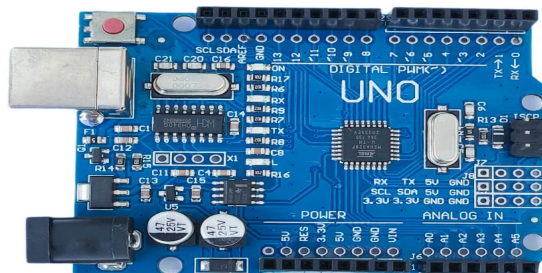
- Arduino Nano e Pro Mini

Modelos menores, indicados para projetos compactos e sistemas portáteis.

- Arduino Uno R4 Mínima e R4 WiFi

Versões mais recentes, com microcontroladores mais potentes (Renesas RA4M1) e conectividade Wi-Fi no modelo WiFi.

Figura 10 - Arduino Uno



Fonte: Casa da Robótica (2025)

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que combina hardware e software para facilitar a criação de projetos interativos. Ele foi desenvolvido com o objetivo de tornar o acesso à eletrônica mais simples e acessível, mesmo para pessoas sem experiência prévia. A placa Arduino possui um microcontrolador programável capaz de controlar sensores, motores, LEDs e diversos outros dispositivos eletrônicos. O grande diferencial do Arduino está em sua facilidade de uso. A programação é feita através do software Arduino IDE, onde os códigos, chamados de sketches, são escritos e enviados para a placa. A partir disso, o microcontrolador executa as instruções programadas, tornando possível automatizar processos, acionar componentes e coletar dados do ambiente.

3.6.3 JUMPERS

Jumpers são fios condutores revestidos por material isolante que servem para criar conexões elétricas temporárias entre dois pontos de um circuito, sendo muito utilizados em placas de prototipagem como o protoboard. Eles são essenciais na fase de montagem e testes de circuitos, pois permitem ligações rápidas, seguras e sem a necessidade de solda. Por isso, são muito usados em projetos com Arduino e outros microcontroladores, além de facilitar a construção de sistemas modulares e flexíveis.

A principal função dos jumpers é permitir a condução da corrente elétrica entre pontos específicos de um circuito, funcionando como pontes temporárias. Eles podem ser usados para testar conexões, configurar dispositivos eletrônicos, contornar defeitos em trilhas de placas danificadas, integrar sensores e módulos ao Arduino ou conectar diferentes placas e componentes eletrônicos.

Existem diferentes tipos de jumpers, como os modelos com conectores macho-macho, que têm pinos em ambas as pontas; macho-fêmea, com pino em uma extremidade e encaixe na outra; e fêmea-fêmea, com encaixe nas duas extremidades. Também existem os jumpers do tipo shunt, que são usados para curtos em pinos adjacentes e ajustes de hardware.

Esses fios de ligação estão disponíveis em kits variados com quantidades e tamanhos diferentes.

Figura 11 - Jumpers Macho/Fêmea



Fonte: Eletrogate (2025)

4. METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

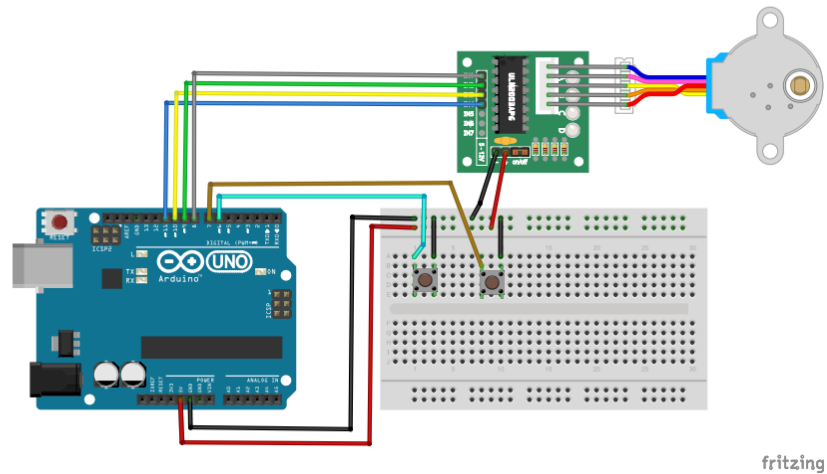
A pesquisa é quali-quantitativa, pois combina a análise qualitativa (observação e interpretação do funcionamento do protótipo, limitações e contribuições para a área de fisioterapia) com a quantitativa (testes de funcionamento do dispositivo, velocidade do motor, ângulos de movimento e tempo de resposta do sistema).

Exploratória: porque busca investigar e levantar informações sobre soluções automatizadas para fisioterapia de membros inferiores, ampliando o conhecimento sobre o tema.

Descritiva: porque descreve as características do protótipo desenvolvido (componentes, funcionamento e aplicação).

4.3 ESQUEMA ELÉTRICO

Figura 12 - Esquema elétrico do protótipo com Arduino Uno, driver ULN2003, motor de passo 28BYJ-48 e botões de acionamento.



Fonte: Prof. Gilberto F. Filho (2025).

O circuito apresentado utiliza uma placa Arduino Uno, um motor de passo 28BYJ-48 acoplado ao driver ULN2003, além de botões de acionamento conectados em uma protoboard para controle.

4.3 PRINCIPAIS CONEXÕES

Arduino Uno: é o “cérebro” do sistema. Recebe a programação carregada e envia os sinais de controle para o motor através do driver. Também fornece alimentação (5V e GND) para os demais componentes.

Driver ULN2003: é um módulo intermediário entre o Arduino e o motor de passo, responsável por amplificar o sinal e permitir o acionamento correto do motor. Está ligado a quatro pinos digitais do Arduino (neste exemplo, pinos 8, 9, 10 e 11). Possui saída específica para conectar o motor 28BYJ-48 (os fios coloridos: azul, rosa, amarelo, laranja e vermelho).

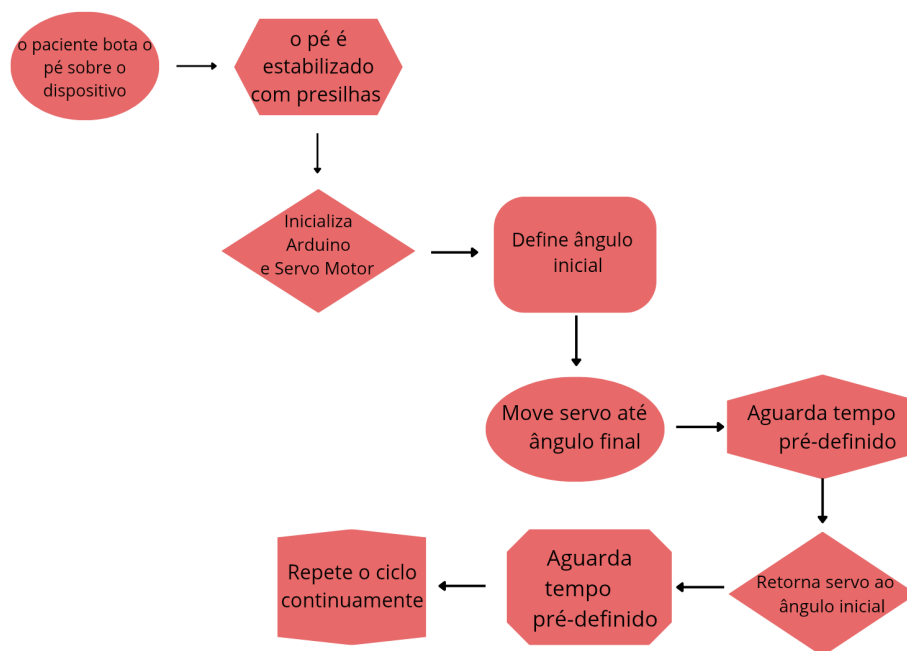
Motor de Passo 28BYJ-48: é o atuador que realiza o movimento mecânico no protótipo (simulando o exercício fisioterapêutico da perna). Recebe sinais elétricos do driver para girar em passos, possibilitando controle de velocidade, direção e ângulo de movimento.

Protoboard e Botão: a protoboard é usada para facilitar as conexões sem necessidade de solda. O botão conectado permite iniciar ou parar o movimento do motor, enviando um sinal digital ao Arduino. Esse botão é ligado com resistor pull-down para garantir leitura estável: quando não pressionado, o sinal é “0” (LOW); ao pressionar, o sinal vai para “1” (HIGH).

Alimentação: o Arduino fornece 5V e GND para o driver ULN2003 e também para a protoboard (alimentando o botão). O motor, por ser de baixa potência, também pode ser alimentado pelo 5V do Arduino.

4.4 PROGRAMAÇÃO

Figura 13 – Fluxograma da lógica de programação do protótipo



Fonte: Os autores (2025).

Explicação do Fluxograma do Dispositivo de Fisioterapia

- O paciente coloca o pé sobre o dispositivo

Etapa inicial: o usuário posiciona o pé no local correto do equipamento para garantir que o movimento será feito de forma segura e eficiente.

- O pé é estabilizado com presilhas

O pé é fixado com presilhas ou suportes, evitando que se mova durante o exercício, garantindo segurança e precisão no movimento.

- Inicializa Arduino e Servo Motor

O sistema eletrônico é ligado: o Arduino recebe energia e inicializa o servo motor que fará o movimento da perna.

- Define ângulo inicial

O dispositivo ajusta a posição inicial do pé, configurando o ângulo de partida do exercício.

- Move servo até ângulo final

O servo motor executa o movimento de flexão ou extensão do pé, levando-a até o ângulo máximo definido para o exercício.

- Aguarda tempo pré-definido

Após alcançar o ângulo final, o sistema faz uma pausa, mantendo a posição por um tempo determinado, permitindo que os músculos sejam alongados ou trabalhados.

- Retorna servo ao ângulo inicial

O servo motor retorna a perna à posição inicial, completando o ciclo de movimento.

- Aguarda tempo pré-definido

Novamente, há uma pausa na posição inicial, garantindo um intervalo controlado antes de iniciar o próximo ciclo.

Repete o ciclo continuamente processo se repete automaticamente, realizando movimentos repetitivos de fisioterapia até que o usuário interrompa o sistema manualmente.

5. CRONOGRAMA

Tabela 1 – Cronograma

[illegible]

6. RECURSOS

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Placa arduino UNO	R\$37,99	1	R\$37,99	Mercado Livre	10
Motor de passo	R\$26,90	1	R\$26,90	Mercado Livre	10
Kit jumper fio 40/pcs	R\$19,00	1	R\$19,00	Mercado Livre	10
Valor final:R\$83,89					

7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS

O produto final da pesquisa consiste em um dispositivo automatizado para reabilitação do tendão calcâneo, desenvolvido com base em um sistema mecatrônico controlado por uma placa Arduino Uno. O equipamento tem como objetivo reproduzir movimentos de flexão plantar e dorsiflexão com controle de amplitude, velocidade e tempo de execução, proporcionando reabilitação segura e precisa.

O protótipo será construído em estrutura de polímero de alta resistência (PLA ou ABS) e componentes metálicos leves em alumínio, conferindo baixo peso total (inferior a 2,5 kg) e facilidade de transporte. O sistema será acionado por um motor de passo, possibilitando a simulação de movimentos lentos e progressivos conforme a fase terapêutica. O controle eletrônico permitirá ajuste fino da amplitude entre 10° e 35° de dorsiflexão e 0° a 45° de flexão plantar, respeitando os limites ergonômicos e fisiológicos da articulação talocrural.

Serão realizadas simulações biomecânicas e análises ergonômicas para assegurar que a força aplicada e a amplitude de movimento não excedam os limites seguros preconizados pela literatura fisioterapêutica..

Espera-se que, com o uso regular supervisionado, o dispositivo promova redução da dor e do edema, melhora da força muscular em até 30%, aumento da amplitude articular em até 20°, e retorno funcional completo entre 8 e 12 semanas, conforme protocolos fisioterapêuticos estabelecidos para reabilitação do tendão calcâneo.

O projeto apresenta alta viabilidade técnica e econômica, pois utiliza materiais de baixo custo e fácil obtenção, com custo estimado de produção inferior a R\$ 400,00 por unidade. O baixo consumo energético (<12 W) e a alimentação por fonte de 12 V garantem portabilidade e segurança durante o uso.

Reconhece-se como limitações a necessidade de acompanhamento profissional para calibração inicial e a adesão constante do paciente ao uso do equipamento, além da variabilidade individual na resposta terapêutica. Apesar

disso, o dispositivo demonstra potencial clínico relevante para ampliar o acesso a métodos eficazes de reabilitação musculotendínea.

REFERÊNCIAS

SERZEDELLO, Felipe. Ruptura do tendão de Aquiles: o que é e como tratar a lesão. Felipe Serzedello. Ortopedia de Pé e Tornozelo. Disponível em: <https://www.felipeserzedello.com.br/ruptura-do-tendao-de-aquiles-o-que-e-e-como-tratar-a-lesao>. Acesso em: 04 jul. 2025.

MSD MANUALS. Rupturas do tendão de Aquiles – Lesões e envenenamentos. MSD Manuals. Casa. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/pt/casa/les%C3%B5es-e-envenenamentos/entorses-e-outras-les%C3%B5es-dos-tecidos-moles/rupturas-do-tend%C3%A3o-de-aquiles>. Acesso em: 04 jul. 2025.

SAÚDE & BEM-ESTAR. Rotura ou ruptura do tendão de Aquiles. Saúde e Bem-Estar. Clínica Ortopédica (Portugal). Disponível em: <https://www.saudebemestar.pt/pt/clinica/ortopedia/ruptura-do-tendao-de-aquiles>. Acesso em: 07 de jul. 2025.

OLIVEIRA, Anderson Luiz de. Ruptura do tendão de Aquiles. Anderson Luiz de Oliveira. Clínica Ortopédica. Disponível em: <https://www.andersonluizdeoliveira.com.br/ruptura-do-tendao-de-aquiles>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ZOBOLI, Alejandro. Ruptura do tendão de Aquiles: causas, diagnóstico e tratamento. alejandrozoboli.com.br. Disponível em: <https://alejandrozoboli.com.br/post/ruptura-do-tendao-de-aquiles>. Acesso em: 11 jul. 2025.

APOLLO HOSPITALS. Achilles tendon rupture. Apollo Hospitals. Disponível em: <https://www.apollohospitals.com/pt/diseases-and-conditions/achilles-tendon-rupture>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CETRUS. Tendinopatia do calcâneo. Educa Cetrus. Disponível em: <https://educa.cetrus.com.br/tendinopatia-calcaneo>. Acesso em: 25 jul. 2025.

GUARDIEIRO, Natália. Tendinopatia de Aquiles. nataliaguardieiro.com.br. Disponível em: <https://www.nataliaguardieiro.com.br/tendinopatia-de-aquiles>. Acesso em: 07 ago. 2025.

BARBAN, Rafael. Tendinite de Aquiles. rafaelbarban.com.br. Disponível em: <https://www.rafaelbarban.com.br/tendinite-de-aquiles>. Acesso em: 20 ago. 2025.

THIEME. Achilles tendon rupture: current concepts. Thieme-Connect Journals. Disponível em: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0040-1702948>. Acesso em: 20 ago. 2025