

GUSTAVO CARDILO OLIVEIRA

ÓRTESE POLI AXIAL UNIPODAL

Vassouras
2026

«GUSTAVO CARDILO OLIVEIRA»

ÓRTESE POLI AXIAL UNIPODAL

Relatório técnico/científico
apresentado a Pró-reitoria de
Pesquisa e Pós-graduação e
Pesquisa / Coordenação do
Mestrado em Ciências Aplicadas em
Saúde da Universidade de
Vassouras, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Ciências Aplicadas em Saúde.

Orientador(es):

Prof. Dr. Eduardo Tavares Lima Trajano Universidade de Vassouras
Doutor pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio
de Janeiro, Brasil

Vassouras
«20226»

«GUSTAVO CARDILO OLIVEIRA»

ÓRTESE POLI AXIAL UNIPODAL

Relatório técnico/científico
apresentado a Pró-reitoria de
Pesquisa e Pós-graduação e
Pesquisa / Coordenação do
Mestrado em Ciências Aplicadas em
Saúde da Universidade de
Vassouras, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em
Ciências Aplicadas em Saúde.

Banca:

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Tavares Lima Trajano, Universidade de
Vassouras.

Doutor pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de
Janeiro, Brasil.

Prof. Dr. Filipe Moreira de Andrade, Universidade de Vassouras
Doutor pela Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói, Brasil.

Prof. Dra. Ivana Picone Borges de Aragão, Universidade de
Vassouras.

Doutora pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro,
Brasil.

Prof. Dra. Andrezza Maria Côrtes Thome Lima, TRIVENTO
Educação.

Doutora pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro,
Brasil.

Vassouras
«2026»

, Gustavo Cardilo Oliveira

ÓRTESE POLI AXIAL UNIPODAL / Gustavo Cardilo Oliveira . -
Vassouras: 2026.

x, 29 f. : il. ; 29,7 cm.

Orientador: Eduardo Tavares de Lima Trajano . Coorientador: Filipe
Moreira de Andrade

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Mestrado ciências da
saúde - Universidade de Vassouras, 2026.

Inclui Ilustrações, Bibliografias e Material Anexo.

1. Pé torto congênito. 2. órtese. 3. criança. 4. ortopedia pediátrica. I. ,
Eduardo Tavares de Lima Trajano. II. , Filipe Moreira de Andrade. III.
Universidade de Vassouras. IV. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as crianças e famílias que futuramente poderão ser beneficiadas desta invenção e acredito que uma semente bem plantada poderá dar bons frutos no futuro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e pela saúde que proporciona vitalidade para desempenhar as tarefas e as obrigações a que nos comprometemos diante da sociedade.

Aos meus pais Jose de Oliveira e Antônia Carmen Cardilo Oliveira que sempre me educaram e apoiaram no caminho do progresso moral e espiritual.

A minha esposa Ligia Maria Cesar Martins que sempre me apoia em tudo que for benéfico para o nosso crescimento pessoal e familiar.

Aos meus filhos Guilherme Martins Cardilo Oliveira e João Gustavo Martins Cardilo Oliveira, pelo amor incondicional entre pai e filhos e por serem a minha esperança de um mundo melhor no futuro.

Aos familiares em especial minha irmã Daniela, Antônio Ribeiro Martins e Jandimar Cesar Adão que sempre torcem por mim, sendo com palavras acolhedoras ou com orações.

Aos professores Eduardo Tavares Lima Trajano, Felipe Moreira de Andrade que sempre me orientaram com muita atenção, conhecimento e cordialidade.

Aos colegas de turma que sempre prestativos, tornou esta trajetória mais leve e agradável.

EPIÍGRAFE

A bondade que você coloca no mundo um dia volta para você!

RESUMO

O pé torto congênito é uma patologia complexa que envolve 4 deformidades conjugadas no pé pediátrico ao nascimento. Seu tratamento vem apresentando desafios tanto para o médico ortopedista pediátrico, devido ao longo período de tratamento e a possibilidade de recidiva, quanto para os familiares pois necessitam colocar na criança um órtese desconfortável que impede a mobilidade e limitam o movimento dos membros inferiores podendo afetar o desenvolvimento motor da criança principalmente no primeiro ano de vida. Após o tratamento baseado na técnica de Ponseti a criança entra na fase de ortetização e precisa utilizar uma órtese de difícil manejo para os pacientes, familiares e o médico. Este trabalho tem por objetivo a elaboração de uma órtese poliaxial e unipodal para tratamento sequencial após a técnica de Ponseti que simplifica a sua utilização já que propicia a liberdade de utilização individual de cada pé além de possuir um dispositivo poliaxial que permite o tratamento do pé em várias angulações em planos conjugados.

Palavras-chave: pé torto congênito, órtese, criança, ortopedia pediátrica.

ABSTRACT

Congenital clubfoot is a complex pathology that involves 4 combined deformities in the pediatric foot at birth. Its treatment has presented challenges both for the pediatric orthopedic doctor, due to the long period of treatment and the possibility of recurrence, and for family members as they need to place an uncomfortable orthosis on the child that impedes mobility and limits the movement of the lower limbs, which can affect the child's health. child's motor development mainly in the first year of life. After treatment based on the Ponseti technique, the child enters the orthosis phase and needs to use an orthosis that is difficult for patients, family members and the doctor to manage. This work aims to develop a polyaxial and single-leg orthosis for sequential treatment following the Ponseti technique, which simplifies its use as it provides freedom of individual use for each foot, in addition to having a polyaxial device that allows treatment of the foot in various angulations in conjugate planes.

Key-words: congenital clubfoot, orthosis, child, pediatric orthopedics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	14
3	DESCRIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO.....	15
4	POSSÍVEIS APLICABILIDADES DO PRODUTO.....	25
5	CONCLUSÃO.....	27
6	REFERÊNCIAS.....	28
7	ANEXOS.....	29

1. INTRODUÇÃO

O pé torto congênito (PTC) é uma deformidade ortopédica tridimensional complexa do pé e do tornozelo, evidente ao nascimento, que envolve alterações estruturais profundas nos sistemas ósseo, articular, muscular, tendíneo e ligamentar. A patologia é classicamente caracterizada pela associação concomitante de quatro componentes anatômicos principais: o cavo (acentuação do arco plantar) e o aduto do médio e antepé, associados ao varo (inversão) e ao equino (flexão plantar) do retropé [1].

Epidemiologicamente, o PTC consolida-se como uma das deformidades congênicas mais relevantes e prevalentes do aparelho locomotor. Apresenta maior incidência no sexo masculino, em uma proporção de 2:1, manifestando-se de forma bilateral em aproximadamente 50% dos casos [1]. Por sua cronicidade e impacto potencial no desenvolvimento infantil, trata-se de uma condição de elevada relevância clínica que exige diagnóstico precoce, intervenção terapêutica adequada e um seguimento ambulatorial prolongado por parte da equipe de saúde.

Para o direcionamento clínico correto, faz-se necessária a distinção etiológica da patologia. O PTC pode ser classificado em idiopático, que representa a forma mais comum e isolada da deformidade, ou associado a condições secundárias, tais como síndromes genéticas, doenças neuromusculares, artrogripose e mielomeningocele. Além disso, a literatura reconhece as formas teratológicas, as recidivadas e as negligenciadas (casos diagnosticados tardiamente). Essa diferenciação é fundamental, uma vez que a versatilidade de novos dispositivos ortopédicos pode estender sua aplicabilidade clínica para além dos casos puramente idiopáticos, abrangendo outras patologias do pé infantil.

O epicentro anatômico e biomecânico da deformidade localiza-se na articulação talonavicular. Ocorre um deslocamento medial e plantar do navicular e do calcâneo em relação à cabeça do tálus, alterando severamente o alinhamento do eixo longitudinal dessa articulação, que originalmente deveria ser linear [1]. Uma vez que o pé torto envolve restrições severas em múltiplos planos de movimento (sagital, coronal e axial), a compreensão dessa tridimensionalidade biomecânica torna-se indispensável para justificar o desenvolvimento de mecanismos de correção ortetizante que atuem de forma igualmente poliaxial.

A ausência de tratamento ou a condução terapêutica inadequada do PTC culmina em graves repercussões funcionais e psicossociais na vida do paciente. Na ausência de correção, a criança desenvolve uma marcha patológica, caracterizada pelo apoio sustentado na borda lateral do pé, o que gera dor crônica, calosidades ulcerativas, hiperqueratose e severa dificuldade para o uso de calçados convencionais. A longo prazo, esse cenário impõe limitações funcionais severas, restrição na participação social e um impacto profundamente negativo na qualidade de vida tanto da criança quanto de seu núcleo familiar.

O diagnóstico do PTC é essencialmente clínico, baseado na inspeção visual e na palpação das deformidades rígidas ao nascimento, embora possa ser

rotineiramente suspeitado no período pré-natal por meio da ultrassonografia obstétrica. Para além da identificação, a quantificação da gravidade e o acompanhamento evolutivo da patologia dependem de sistemas de pontuação padronizados. Na prática clínica, as escalas de Pirani e de DiMeglio são as ferramentas mais difundidas, sendo utilizadas para classificar a rigidez inicial, monitorar a progressão do tratamento e uniformizar os critérios de avaliação científica.

Diante do diagnóstico, os objetivos gerais do tratamento consistem em obter um pé funcional, flexível, indolor, plantigrado — isto é, com apoio plantar completo e uniforme no solo — e que seja plenamente compatível com uma marcha fisiológica adequada e com a utilização de calçados comuns de mercado.

Historicamente, o padrão-ouro para o alcance desses objetivos é o Método de Ponseti, cuja eficácia é amplamente documentada. Didaticamente, essa abordagem desdobra-se em etapas sequenciais e interdependentes: inicia-se com manipulações seriadas semanais seguidas por imobilizações gessadas sucessivas para a correção progressiva das deformidades; avança-se, quando indicado, para a tenotomia percutânea; e finaliza-se com a fase de manutenção preventiva com o uso de órteses. Esse encadeamento demonstra que o dispositivo ortetizante não constitui um elemento secundário, mas sim um componente mandatório para o sucesso global do tratamento.

No transcorrer dessa sequência terapêutica, após a correção sistemática do cavo, do aduto e do varo, o equino residual do retropé frequentemente persiste devido ao encurtamento severo do tendão calcâneo. Para superá-lo, indica-se a realização da tenotomia percutânea do tendão calcâneo (de Aquiles) [3]. Após o procedimento cirúrgico, o membro é imediatamente imobilizado por um novo período de três semanas com gesso curto, intervalo biológico necessário para a cicatrização, o alongamento estável e a neoformação do tecido tendíneo.

Após a retirada do último gesso, inicia-se a fase de ortetização, período crítico no qual reside o maior desafio do Método de Ponseti. Embora a correção inicial seja obtida de forma eficaz com os gessos, há uma propensão biológica acentuada à recidiva da deformidade, impulsionada pelo rápido crescimento esquelético e muscular da criança nos primeiros anos de vida. Assim, a órtese assume o papel essencial de manter os ganhos anatômicos alcançados e estabilizar as articulações na posição correta.

Contudo, o sucesso dessa fase final não se restringe à técnica médica, estando intrinsecamente atrelado à adesão familiar ao protocolo de uso prolongado, que tipicamente se estende por 2 a 4 anos. O cotidiano da ortetização impõe barreiras complexas às famílias, que frequentemente enfrentam o choro e a resistência da criança ao gado do dispositivo, dificuldades na colocação correta, episódios de irritação cutânea ou pontos de pressão no pé, além da percepção de limitação severa da mobilidade da criança. Tais fatores configuram-se como gatilhos frequentes para o abandono parcial ou total do tratamento.

A recidiva do PTC representa uma das principais intercorrências clínicas pós-correção e sua ocorrência está diretamente vinculada a falhas na fase de

manutenção e à baixa taxa de complacência com a órtese. Diante disso, a literatura científica aponta que inovações focadas no aprimoramento do design, no ganho de conforto térmico e tátil e na melhoria da usabilidade dos dispositivos médicos possuem o potencial de elevar os índices de adesão, mitigando o risco de recorrência da deformidade.

No cenário tecnológico atual, os modelos de órteses existentes dividem-se em diferentes categorias de projeto. O padrão tradicionalista é representado pela órtese de abdução de Denis Browne, caracterizada por duas botas acopladas a uma barra transversal rígida de ferro que fixa os pés em rotação externa e dorsiflexão [4]. Visando contornar a rigidez do sistema e melhorar a aceitação, surgiram modelos articulados, como a órtese de Dobbs, que introduziu uma articulação central na barra para permitir movimentos recíprocos e facilitar o ato de engatinhar [5], e a órtese de Mitchell-Ponseti, focada na otimização da ergonomia dos calçados. Contudo, apesar de tais avanços, a maioria absoluta dos modelos vigentes mantém a obrigatoriedade da conexão bilateral mecânica entre os membros inferiores.

Essa configuração bilateral impõe limitações evidentes às órteses convencionais. Dentre os principais inconvenientes citam-se a obrigatoriedade do aprisionamento de ambos os membros mesmo quando o acometimento patológico é estritamente unilateral, a restrição mecânica da movimentação independente das pernas, a dificuldade de transporte e manuseio do sistema pelos pais, além do risco de posicionamento inadequado por folgas e da necessidade de ajustes complexos face ao crescimento infantil. Embora não se possa afirmar categoricamente que tais dispositivos prejudiquem o desenvolvimento neuropsicomotor — carecendo de evidências clínicas definitivas —, o modelo rígido pode gerar uma nítida percepção de limitação da mobilidade física e atuar como um fator de resistência à adesão familiar, de modo mais acentuado no primeiro ano de vida do lactente.

Nesse contexto, justifica-se o desenvolvimento de uma órtese poliaxial. Ao incorporar um sistema de articulação esferoidal dotado de trava estática, o dispositivo viabiliza ajustes individualizados e tridimensionais na base do calçado. Essa assinatura mecânica correlaciona-se de forma direta com a própria natureza tridimensional da deformidade, permitindo ao cirurgião ortopedista mimetizar e travar os planos sagital, coronal e axial na posição terapêutica exata exigida pelo protocolo clínico de correção.

De forma complementar, a proposição de um modelo estruturalmente unipodal desponta como uma alternativa tecnológica de grande interesse. Ao segmentar o tratamento e permitir o manejo isolado de cada membro, a abordagem unipodal pode favorecer o conforto da criança nos casos de acometimento unilateral, simplificar o manuseio diário pelos responsáveis e resguardar a liberdade cinemática do membro contralateral sadio, podendo representar uma alternativa viável para a flexibilização do manejo ortetizante.

Por se tratar de uma pesquisa inserida no escopo de um Mestrado Profissional, este trabalho fundamenta-se nos preceitos da inovação tecnológica aplicada à

saúde. O desenvolvimento de novos dispositivos médicos e ortopédicos deve, imperativamente, buscar a convergência entre soluções que sejam funcionalmente eficazes, mecanicamente seguras, passíveis de regulação fina, economicamente acessíveis e de fácil reprodutibilidade na rotina dos serviços de saúde.

Dessa forma, constata-se uma lacuna aberta no ecossistema do tratamento do PTC: apesar da consagração metodológica do manejo inicial de Ponseti, a fase subsequente de ortetização permanece cercada por desafios críticos de adesão, ergonomia, usabilidade e manutenção da estabilidade articular. À vista disso, o presente trabalho justifica-se ao propor o desenvolvimento e a descrição técnica de uma órtese poliaxial e unipodal, concentrando-se na análise de seus parâmetros de engenharia, usabilidade percebida, ensaios de segurança e fundamentação mecânica preliminar, pavimentando o caminho para futuras validações clínicas.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de uma órtese inovadora multifuncional poliaxial unipodal para tratamento das patologias do pé pediátrico.

O objetivo específico deste projeto:

Tratamento individual de cada pé.

Tratamento do pé em várias posições terapêuticas, utilizando angulações conjugadas nos planos coronal, sagital e axial (poliaxial).

3. DESCRIÇÃO TÉCNICA DO PRODUTO

3.1. Etapas de Desenvolvimento da Órtese

O desenvolvimento do dispositivo ortético baseou-se em uma abordagem evolucionária, partindo de um modelo físico conceitual inicial até a modelagem computacional detalhada de um segundo protótipo funcional sendo terminada por um terceiro protótipo otimizado para fabricação por manufatura aditiva (impressão 3D).

3.2. Histórico de Desenvolvimento e Prototipagem Inicial

O projeto teve como ponto de partida o Protótipo 1, que consistia em uma estrutura física para validação de conceito.



Esse modelo inicial foi confeccionado em material plástico composto e estruturado em 4 módulos principais:

1. Sandália: Componente superior para o posicionamento e acomodação do pé.
2. Dispositivo Esferoidal: Junta mecânica poliaxial acoplada à base da sandália.
3. Base de Apoio Inferior: Plataforma de sustentação que recebe o mecanismo articulado.
4. Haste de Apoio da Perna: Estrutura vertical responsável pela fixação e estabilização do segmento tibial.

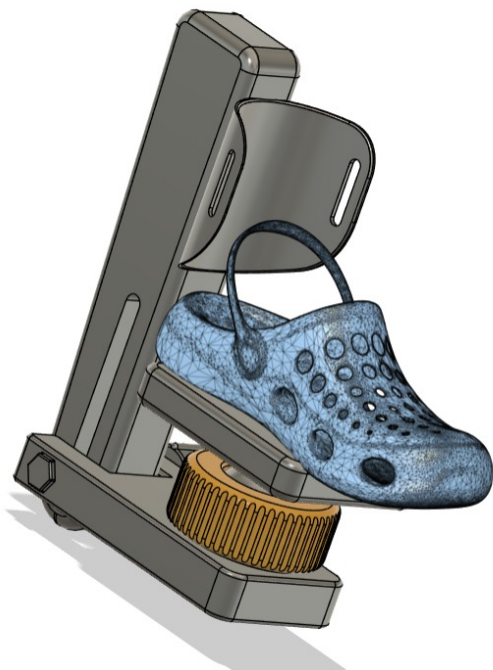
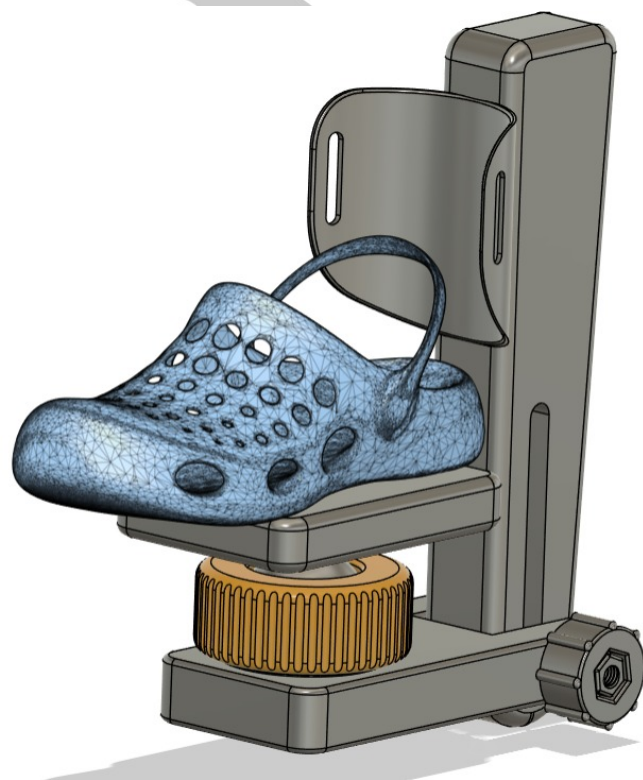


A integração desses 4 módulos com os dispositivos de travamento mecânico resultou em um aparelho ortético cujo diferencial inovador reside no uso de um dispositivo esferoidal poliaxial. Essa articulação permite a translação e rotação da sandália nos planos axial, sagital e coronal, mimetizando de forma conjugada os movimentos anatômicos complexos do pé, tais como: flexão plantar, dorsiflexão, adução, abdução, rotação interna/externa, inversão, eversão, supinação e pronação.

3.3. Evolução de Design: O Protótipo 2 (Modelagem CAD)

A partir das validações geométricas e cinemáticas obtidas com o modelo inicial, foi desenvolvido o Protótipo 2 utilizando modelagem tridimensional computacional (CAD) voltada à impressão 3D (conforme descrito no arquivo image_5.png). Esta nova iteração incorporou melhorias significativas de design, ergonomia, resistência mecânica e acoplamento entre os componentes.

Abaixo apresenta-se a montagem geral do sistema renderizado:



Em todas as etapas do desenvolvimento deste dispositivo ortopédico seguiu-se um percurso metodológico rigoroso focado no design centrado no paciente e na engenharia de reabilitação pediátrica. O fluxo de trabalho técnico e científico estruturou-se através de dez etapas sequenciais e interdependentes que fundamentaram a maturidade tecnológica do produto:

1. Identificação do problema clínico: Diagnóstico das dificuldades severas na fase de ortetização pós-método Ponseti para o tratamento do Pé Torto Congênito

(PTC), com ênfase na intolerância do paciente pediátrico e barreiras de adesão familiar.

2. Análise das limitações dos modelos atuais: Mapeamento mecânico e ergonômico das órteses tradicionais de Denis Browne, identificando restrições severas de mobilidade e a interdependência indesejada causada pela barra de conexão bilateral.

3. Definição dos requisitos funcionais: Estabelecimento de parâmetros de engenharia médica essenciais para o projeto, incluindo a independência unipodal, ajuste de posicionamento tridimensional (poliaxial), estabilidade estrutural sob carga mecânica, travamento estático seguro da posição terapêutica, capacidade adaptativa ao crescimento antropométrico e usabilidade simplificada para os cuidadores.

4. Busca de anterioridade: Investigação profunda em bases nacionais e internacionais de patentes (INPI, USPTO, EPO) e literatura científica (PubMed, Google Scholar), validando o caráter inovador e a atividade inventiva do mecanismo. A estratégia de busca focou em refinamentos dentro das Classificações Internacionais de Patentes (CIP):

- A61F 5/01: Dispositivos ortopédicos (dispositivos de mobilização a longo prazo ou de pressionamento direto para o tratamento de ossos quebrados ou deformados, tais como talas, moldes ou suportes).
- A61F 5/14: Peças medicinais especiais inseridas nos sapatos para corrigir pés chatos, pés tortos ou similares.

As buscas utilizaram palavras-chave e cruzamentos booleanos nos idiomas português, inglês e espanhol para os termos: pé torto, poli axial e ortopedia pediátrica. Foram identificados 5 produtos correlatos na literatura de patentes (1 de relevância baixa e 4 de relevância média). No entanto, constatou-se que nenhum dos documentos encontrados detinha a inovação proposta: um dispositivo esferoidal munido de trava que permite o posicionamento tridimensional do pé de forma individualizada e controlada em qualquer plano de movimento (poliaxial) voltado ao tratamento ortopédico.

5. Desenvolvimento conceitual: Modelagem abstrata do sistema tridimensional, concepção do arranjo esferoidal dotado de contrapeça com rosca para travamento e distribuição das forças vetoriais de apoio no segmento tibial e podálico.

6. Modelagem e desenho técnico: Tradução dos conceitos geométricos em arquivos CAD (Computer-Aided Design) tridimensionais parametrizados, detalhando tolerâncias de encaixe e folgas mecânicas.

7. Seleção de materiais: Triagem de polímeros viáveis industriais e laboratoriais (ABS, PLA, PETG, Nylon e PVC), ponderando a densidade, resistência à fadiga cíclica, biocompatibilidade dérmica secundária, custo de manufatura e compatibilidade com manufatura aditiva.

8. Desenvolvimento de protótipo por impressão 3D: Materialização física dos componentes projetados através do processo de deposição de material fundido (FDM), gerando os primeiros modelos funcionais para avaliação de bancada.
9. Ajustes e refinamento do protótipo: Avaliação empírica de funcionalidade cinemática, checagem da estabilidade estrutural do encaixe tipo rabo de andorinha, validação da amplitude angular e calibração fina dos sistemas mecânicos de regulagem de altura.
10. Documentação técnica e proteção intelectual: Consolidação de relatórios técnicos de engenharia e redação final do relatório descritivo para depósito de patente de invenção junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

3.4. Busca de Anterioridade e Definição dos Requisitos Técnicos

A busca de anterioridade sistemática demonstrou que o estado da arte é dominado por mecanismos rígidos de acoplamento bilateral. O principal gargalo técnico dessas tecnologias reside no fato de que o movimento de uma perna induz reações mecânicas reflexas e forças de torção no membro oposto, resultando em desconforto agudo, choro, distúrbios do sono na infância e, conseqüentemente, uma taxa alarmante de abandono do tratamento antes do período preconizado de 3 a 4 anos.

Com base nesse panorama, os requisitos técnicos do novo dispositivo foram rigorosamente fixados. O sistema deveria garantir suporte mecânico rígido e, ao mesmo tempo, versatilidade geométrica. Determinou-se a necessidade de amplitude de movimentos conjugados que mimetizassem a biomecânica articular do tornozelo e subtalar, garantindo os eixos coordenados necessários para a manutenção da correção ortopédica (abdução e flexão dorsal) sem interferir no membro contralateral saudável ou em estágio terapêutico distinto.

3.5. Desenvolvimento do Protótipo e Impressão 3D

A manufatura aditiva desempenhou papel crucial na validação da invenção. A fabricação dos protótipos utilizou parâmetros avançados de fatiamento para garantir a resistência mecânica necessária às solicitações cíclicas exercidas pelos movimentos involuntários da criança. A escolha dos polímeros seguiu especificações rígidas de engenharia, detalhadas a seguir:

- ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno): Para cenários que exigem boa tenacidade e resistência ao impacto.
- PLA (Ácido Poliláctico): Indicado para prototipagem rápida e componentes de rigidez elevada com baixa contração térmica.
- PETG (Polietileno Tereftalato Glicolado): Alternativa balanceada, oferecendo excelente resistência química, mecânica e facilidade de impressão.
- Nylon (Poliamida): Destinado aos componentes sujeitos a severo desgaste por atrito e alta fadiga mecânica, como a junta esferoidal.
- PVC (Policloreto de Vinila): Avaliado para partes acessórias flexíveis ou semi-rígidas

Durante os ensaios laboratoriais com o protótipo impresso, os ajustes focaram na eliminação de folgas na interface do rabo de andorinha e na otimização do coeficiente de atrito entre a esfera interna da rótula e a cavidade côncava, garantindo que o torque aplicado manualmente na porca externa fosse suficiente para imobilizar o sistema sob cargas fisiológicas dinâmicas.

3.4. Descrição dos Componentes da Órtese Poliaxial Unipodal (O protótipo 3)

A estrutura geral integrada do dispositivo e a disposição espacial de seus elementos constitutivos podem ser observadas em detalhe a partir da caracterização visual e de engenharia. A arquitetura completa da órtese em sua conformação de operação e montagem é apresentada textualmente a seguir, associando cada componente à sua representação gráfica oficial.

A estrutura geral e o arranjo tridimensional do dispositivo completo podem ser observados na Figura 1, que ilustra a integração mecânica harmônica entre o sistema podálico e o sistema tibial.

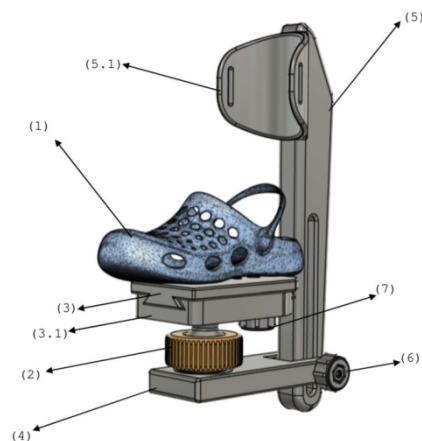


FIGURA 1

Figura 1 - Vista geral da órtese poliaxial unipodal, demonstrando a sandália, a haste de apoio da perna, a base inferior e o sistema de articulação esferoideal.

A sandália (1) serve para posicionar o pé do paciente no dispositivo de forma anatômica e estável. Compreende, preferencialmente, uma estrutura fechada de padrão comercial adaptável para crianças na faixa etária de 1 mês a 5 anos. Ela possui caráter intercambiável no dispositivo, variando em escala geométrica segundo o crescimento volumétrico do pé do paciente. A interface inferior da

sandália (1) e seu acoplamento à plataforma de suporte móvel são evidenciados nas Figuras 2 e 3.

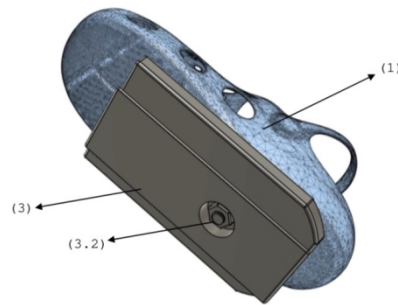


Figura 2

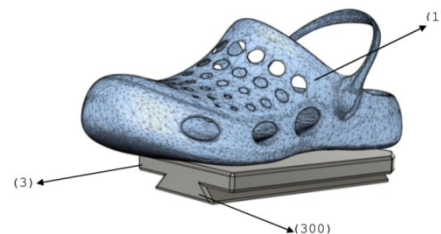


Figura 3

Figura 2 - Vista inferior da sandália acoplada à plataforma de fixação.

Figura 3 - Vista frontal da sandália e do sistema de encaixe na plataforma.

A sandália (1) é unida rigidamente por meio de um parafuso de cabeça boleada de aço inoxidável com dimensões normatizadas de $4\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ e porca sextavada correspondente de 4 mm à plataforma superior de fixação da sandália (3). Para conferir versatilidade de tamanho e intercambialidade rápida, a porção inferior da plataforma superior de fixação da sandália (3) possui uma geometria usinada ou moldada em formato de rabo de andorinha macho (300). Este elemento desliza axialmente e se acopla ao rebaixo complementar em formato de rabo de andorinha fêmea (301) localizado na plataforma inferior de fixação da sandália (3.1). O travamento longitudinal dessa translação é efetuado pelo parafuso de fixação da sandália (3.2), permitindo transladar a sandália em direção anterior ou posterior para o correto alinhamento do centro de gravidade podálico.

A plataforma superior (3) possui comprimento variando de 100 mm a 200 mm , largura de 60 mm a 100 mm e espessura de 10 mm a 25 mm , apresentando término posterior arredondado com raio de curvatura entre 25 mm e 40 mm . O rabo de andorinha macho (300) estende-se longitudinalmente com largura entre 20 mm e 50 mm , altura de 5 mm a 15 mm e ângulo de conicidade

inclinado a 45° positivos. Consistentemente, a plataforma inferior de fixação (3.1) apresenta dimensões externas de comprimento (100 mm a 200 mm), largura (60 mm a 100 mm) e altura (10 mm a 25 mm) equivalentes, contendo o rabo de andorinha fêmea (301) com largura de 20 mm a 50 mm , profundidade de 5 mm a 15 mm e inclinação geométrica de 45° negativos. As características geométricas e furos de ancoragem destes componentes críticos estão dispostos nas Figuras 4 e 5.

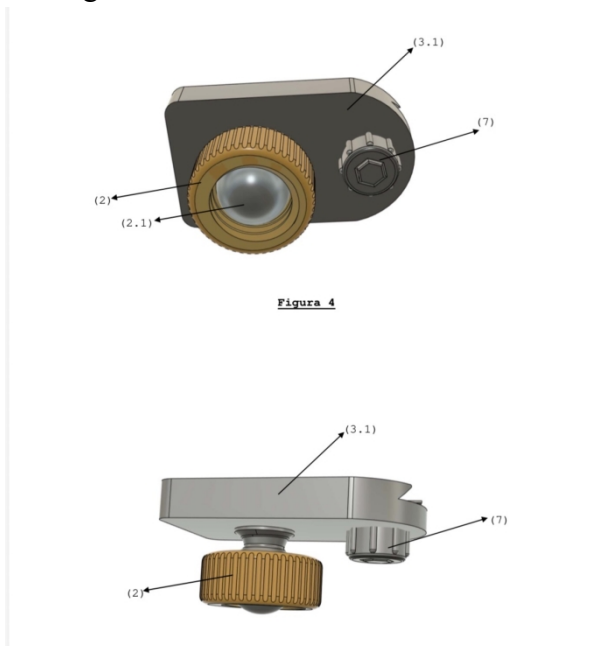


Figura 4 - Vista inferior da plataforma de fixação e do sistema esferoidal.

Figura 5 - Vista lateral da plataforma de fixação e da rótula.

A plataforma inferior (3.1) possui um furo passante de 5 mm de diâmetro posicionado adjacente à sua borda frontal, destinado à passagem do parafuso de fixação da rótula na plataforma inferior (2.3), consistindo em um parafuso de aço inoxidável com diâmetro de 3 mm , comprimento entre 15 mm e 30 mm e rosca autoatarraxante tipo soberba. Na região posterior e centralizada da plataforma inferior (3.1), encontra-se instalado o parafuso de fixação da sandália (3.2), dotado de manípulo com diâmetro externo entre 15 mm e 25 mm , espessura de 10 mm a 20 mm , corpo em aço inoxidável com rosca métrica M4 e comprimento útil de 20 mm a 40 mm . Solidária à base inferior da plataforma (3.1), projeta-se a esfera interna da rótula (2.1), a qual interage com a porca externa da rótula (2). A sustentação basal e o posicionamento mecânico vertical do conjunto são realizados pela base de apoio inferior (4) e pela haste tibial associada. A base inferior (4) configura-se como um bloco prismático retangular com comprimento entre 80 mm e 150 mm , largura de 50 mm a 100 mm e altura de 5 mm a 20 mm , possuindo em sua

porção posterior uma fenda ou rasgo retangular guia com largura de 10 mm a 20 mm e extensão longitudinal de 10 mm a 40 mm , cujo propósito é alojar e guar a haste de apoio da perna (5). Transversalmente a este rasgo, a base (4) é perfurada por um canal de 5 mm de diâmetro para a montagem e atuação do sistema de ajuste de altura da base de apoio inferior (6). A visualização isolada do chassi do dispositivo e seus mecanismos de ajuste vertical e fixação tibial podem ser verificados nas Figuras 6 e 7.

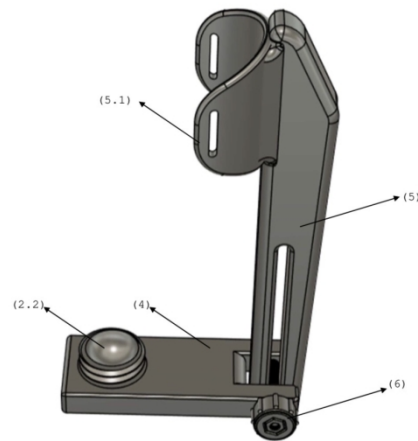


Figura 6

Figura 6 - Detalhe do dispositivo apresentando apenas a base inferior, a haste de apoio da perna, a trava da perna e o sistema de ajuste de altura.

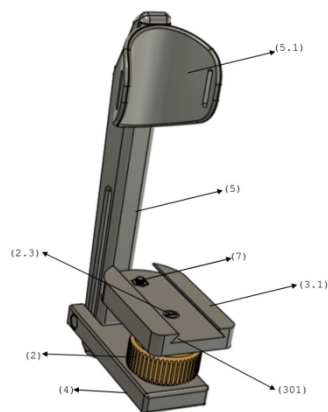


Figura 7

Figura 7 - Vista do dispositivo sem a sandália e sem a plataforma superior de fixação da sandália, evidenciando a base, a haste e os mecanismos de fixação.

A haste de apoio da perna (5) ergue-se perpendicularmente em relação ao plano horizontal formado pela base de apoio inferior (4), atuando como o elemento

estrutural de transferência de carga e reação da perna. A haste (5) apresenta comprimento total entre 200 mm e 300 mm , largura variável escalonada de 15 mm a 30 mm em sua base inferior até 25 mm a 50 mm em sua extremidade superior, com espessura constante ou perfilada entre 10 mm e 20 mm . Longitudinalmente, a haste (5) possui um rasgo centralizado com largura de 5 mm a 10 mm e comprimento de 60 mm a 150 mm . A fixação firme ao segmento da perna do paciente é assegurada pela trava da perna (5.1), configurada como um semiarco rígido ou flexível com espessura de 3 mm a 5 mm , altura de 50 mm a 100 mm e diâmetro interno de acomodação variando entre 60 mm e 120 mm .

3.5. Funcionamento do Sistema Poliaxial e Mecanismo de Travamento

O núcleo dinâmico e cinemático da invenção reside no acoplamento tridimensional provido pela rótula (2), que atua como uma articulação esferoidal mecânica de múltiplos graus de liberdade. A esfera interna da rótula (2.1), de geometria esférica perfeita com diâmetro contido entre 20 mm e 50 mm , assenta-se e gira suavemente sobre a base de apoio da esfera (2.2), a qual constitui uma cavidade côncava com raio equivalente diretamente impressa ou moldada no corpo da base de apoio inferior (4). O diâmetro interno da concavidade varia entre 20 mm e 50 mm , enquanto o diâmetro externo da projeção cilíndrica circundante situa-se entre 25 mm e 55 mm , dotado de rosca macho externa com passo plano de 3 mm ao longo de uma altura de 5 mm a 20 mm .

Princípio Físico-Mecânico de Operação: A porca externa da rótula (2) possui diâmetro externo de 25 mm a 60 mm , altura de 10 mm a 25 mm , furo interno de calibração para contenção da esfera de 20 mm a 50 mm e rosca interna fêmea com passo compatível de 3 mm . Ao rotacionar manualmente a porca externa (2) sobre a rosca da base de apoio da esfera (2.2), gera-se uma força de compressão axial normal que esmaga uniformemente a esfera interna (2.1) contra a cavidade côncava. O atrito estático resultante anula instantaneamente os três graus de liberdade rotacionais, travando rigidamente a órtese na posição angular exata determinada pelo médico ortopedista.

O movimento poliaxial amplo provido por este arranjo mecânico abrange deslocamentos angulares contínuos na faixa de 0° a 35° em todos os planos espaciais coordenados (axial, sagital e coronal). Essa amplitude permite ao dispositivo reproduzir isoladamente ou de forma combinada todos os movimentos complexos do pé humano necessários para a terapia do pé torto congênito, conforme descrito analiticamente pelas equações de orientação espacial. O sistema reproduz com exatidão a flexão plantar, flexão dorsal, adução, abdução, rotação interna, rotação externa, inversão, eversão, supinação e pronação.

3.6. Possibilidades de Ajuste e Aplicação Clínica

A aplicação clínica do dispositivo destaca-se pela versatilidade de ajustes frente à variabilidade antropométrica da população pediátrica. O sistema de ajuste da altura da base de apoio inferior (6) é operado por meio de um botão giratório indexado ou manípulo lateral localizado na porção externa da base de apoio inferior (4). A rotação deste botão aciona um eixo roscado ou pino passante que atravessa o rasgo longitudinal da haste de apoio da perna (5), permitindo transladar verticalmente todo o conjunto podálico em relação à trava da perna (5.1). Esse ajuste longitudinal compensa o crescimento ósseo da tíbia da criança ao longo dos anos de tratamento, mantendo o fulcro da articulação mecânica perfeitamente alinhado ao centro anatômico do tornozelo do paciente.

Em termos práticos, o ortopedista obtém um controle total e independente sobre o membro afetado. Durante as consultas de acompanhamento, o médico pode aliviar parcialmente o torque da porca externa da rótula (2), reorientar o pé da criança para incrementar os graus de abdução ou dorsiflexão necessários para evitar a recidiva da deformidade estrutural do PTC e travar novamente o sistema em poucos segundos, sem a necessidade de ferramentas complexas ou substituição de componentes estruturais caros.

4. POSSÍVEIS APLICABILIDADES DO PRODUTO

A presente invenção se aplica à medicina ortopédica (saúde humana), no que tange à aplicação de órteses do pé torto congênito após o tratamento pela técnica de Ponseti. Outras aplicações da órtese se estendem para patologias do pé infantil como o metatarso aduto, marcha idiopática em equino, patologias do pé teratológico associado a paralisia cerebral, artrogripose e mielomeningocele, torção interna e externa tibial e imobilização de fraturas do tornozelo e pé.

Durante a busca de anterioridade foram detectados 4 produtos patenteados de relevância média relacionados a presente inovação tecnológica, Órtese Poliaxial Unipodal, sendo eles : 'O calçado de Dennis Brown', 'A bota Orthocalce Neurofuncional Ortopédica', 'A Bota Ortopédica Imobilizadora Infantil Bilateral' e o documento BR1020120328488.

No que tange o estado da técnica. O documento "O calçado Dennis Brown" apresenta uma trave entre os sapatos para manter os pés em posição de rotação interna. Todavia, a órtese de Dennis Brown difere da presente invenção por ser uma órtese rígida que utiliza 2 botas (bipodal) fixas em uma barra de ferro, mantendo os dois pés presos à órtese mesmo se somente um pé necessitar de tratamento. Em relação ao posicionamento do pé, a órtese de Dennis Brown possui um travamento fixo somente em rotação interna e externa dos pés, enquanto a presente invenção possui um

dispositivo esferoidal com trava que permite posicionar o pé individualmente em tratamento, em qualquer plano de movimento (poliaxial). [0009] A Bota Orthocalce neurofuncional ortopédica apresenta palmilhas de conforto construídas por fibra e E.V.A com forro em couro natural, sola de alta durabilidade e anatômica para correção postural adequada, e ainda um contra forte alto e rígido que proporciona estabilidade e contribui para uma boa estabilização e postura. Todavia, A bota orthocalce neurofuncional difere da presente invenção por ser um calçado rígido que não possui o dispositivo esferoidal com trava, que permite posicionar o pé individualmente em tratamento em qualquer plano de movimento (poliaxial). Petição 870260024909, de 17/03/2026, pág. 8/30 3/11 [0010] A Bota Ortopédica Imobilizadora Infantil Bilateral apresenta um modelo estilo sandália com uma estrutura similar a uma haste de apoio da perna, referindo-se a uma imobilização rígida e utilizada para tratamento de traumas nos tornozelos e pés de crianças, tendo a função somente de imobilizador, e não possui o dispositivo esferoidal com trava, que permite posicionar o pé individualmente em tratamento em qualquer plano de movimento (poliaxial). [0011] O documento BR1120240110036 revela um calçado ortopédico para manter os pés de um usuário em uma posição terapêutica predeterminada, em que o calçado apresenta um sistema com uma barra curva capaz de permitir maior ajuste do dispositivo para o usuário, contribuindo para melhoras de deformidades no pé, referindo-se a uma órtese rígida que utiliza uma barra transversal entre as duas botas fixas a essa barra, e permite o movimento terapêutico somente de rotação interna e externa dos pés. Ela utiliza 2 botas (bipodal) fixas em uma barra de ferro, mantendo os dois pés presos à órtese mesmo se somente um pé necessitar de tratamento. A presente invenção, por outro lado, possui um dispositivo esferoidal com trava que permite posicionar somente o pé individualmente em tratamento, e em qualquer plano de movimento (poliaxial). [0012] O documento BR1020120328488 revela uma órtese auxiliar à dorsiflexão do pé com controle de inversão e eversão, a qual é formada por uma palmilha e um prolongamento para apoiar a panturrilha, que são unidos por uma mola com uma angulação que varia de 60° a 80°, e ligamentos elásticos que fixam o dispositivo ao corpo e garantem a fixação do tornozelo, referindo-se a um dispositivo que realiza somente Petição 870260024909, de 17/03/2026, pág. 9/30 4/11 os movimentos de inversão e eversão dos pés, e não possui o dispositivo esferoidal com trava, que permite posicionar o pé individualmente em tratamento e em qualquer plano de movimento (poliaxial). [0013] Portanto, pode-se afirmar que a presente invenção se distancia dos documentos do estado da técnica aqui apresentados, visto que nenhum deles se refere a um dispositivo com sistema poliaxial, que compreende um dispositivo esferoidal com trava que permite o posicionamento do pé em todos os planos de movimento, sendo um recurso ímpar para o melhor posicionamento terapêutico do pé, podendo individualizar e permitir a combinação de posições conjugadas do pé em tratamento.

CONCLUSÃO

A conclusão final desta invenção se aplica à medicina ortopédica (saúde humana), no que tange à ortetização do pé torto congênito após o tratamento pela técnica de Ponseti, podendo se estender as outras patologias específicas do pé infantil. A presente invenção ortética divulga a inovação tecnológica que se baseia em um dispositivo esferoidal com trava que permite posicionar somente o pé individualmente em tratamento, e em qualquer plano de movimento (poliaxial).

5. REFERÊNCIAS

1. Ponseti IV. Congenital clubfoot. Fundamentals of treatment. New York: Oxford University Press; 1996
2. Ponseti IV. The ponseti technique for correction of congenital clubfoot. J Bone Joint Surg Am. 2002;84(10):1889-90.
3. Minkowitz B, Finkelstein BI, Bleicher M. Percutaneous tendo-Achilles lengthening with a large-gauge needle: a modification of the Ponseti technique for correction of idiopathic clubfoot. J Foot Ankle Surg. 2004;43(4):263-5.
4. Sheta RA, El-Sayed M. Is the Denis Browne Splint a Myth? A Long-Term Prospective Cohort Study in Clubfoot Management using Denis Browne Splint Versus Daily Exercise Protocol. J Foot Ankle Surg 2020;59(02):314–322
5. Dobbs MB, Rudzki JR, Purcell DB, Walton T, Porter KR, Gurnett CA. Factors predictive of outcome after use of the Ponseti method for the treatment of idiopathic clubfeet. J Bone Joint Surg Am 2004;86 (01):22–27

6. ANEXOS



17/03/2026 870260024909
16:03
29409162354168540

Pedido nacional de invenção; Pedido nacional de modelo de utilidade; Pedido nacional de certificado de adição de invenção; e Entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2026 006320 7

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: FUNDAÇÃO EDUCACIONAL SEVERINO SOMBRA

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 32410037000184

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Associação com intuito não econômico

Endereço: AV. EXPEDICIONARIO OSWALDO DE ALMEIDA RAMOS, N° 280 -
CENTRO

Cidade: Vassouras

Estado: RJ

CEP: 27700000

País: Brasil

Telefone: 2424718347

Fax:

Email: nit@universidadedevassouras.edu.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em
17/03/2026 às 16:03, Petição 870260024909

