

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA E FISIOTERAPIA
GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

JULIANA DE LOURDES ALVES
YASMIM BRUNA SILVA

**Efeitos de diferentes formas de treino de marcha sobre a função motora e o
endurance de crianças com paralisia cerebral**

UBERLÂNDIA
Agosto, 2026

JULIANA DE LOURDES ALVES
YASMIM SILVA BRUNA

**Efeitos de diferentes formas de treino de marcha sobre a função motora e o endurance
de crianças com paralisia cerebral**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Educação Física e Fisioterapia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Seizo Kishi

UBERLÂNDIA
Agosto, 2026

JULIANA DE LOURDES ALVES
YASMIM SILVA BRUNA

**Efeitos de diferentes formas de treino de marcha sobre a função motora e o endurance
de crianças com paralisia cerebral**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Educação Física e Fisioterapia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Fisioterapia.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcos Seizo Kishi - FAEFI/UFU

Prof. Dr. Angelo Piva Biagini - FAEFI/UFU

Ma. Maria Teresa de Mendonça Biasi Pafume - FAEFI/UFU

Uberlândia (MG), 05 de Agosto de 2026

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, de forma especial, ao professor e amigo Marcos Seizo Kishi, por sua orientação, incentivo, confiança e motivação ao longo desta caminhada acadêmica. Sua dedicação, disponibilidade e ensinamentos foram fundamentais para a realização deste trabalho e para o nosso crescimento pessoal e profissional.

Aos nossos familiares, amigos e colegas, expressamos nossa sincera gratidão por todo o apoio, incentivo e compreensão durante a graduação. Houve momentos desafiadores em que o carinho, as palavras de encorajamento e a presença de cada um fizeram toda a diferença. Sem esse suporte, a caminhada teria sido muito mais difícil.

Por fim, agradecemos uma à outra pela parceria construída ao longo deste trabalho. escolher desenvolver este TCC em dupla foi, sem dúvida, uma das melhores decisões que tomamos. Durante todo o processo, compartilhamos conhecimentos, dividimos responsabilidade, enfrentamos desafios e oferecemos apoio mútuo nos momentos de dificuldade. Essa união tornou a jornada mais leve, enriquecedora e significativa, permitindo crescer juntas e alcançar este importante objetivo.

RESUMO

A paralisia cerebral é uma condição neurológica que compromete o desenvolvimento motor, frequentemente ocasionando alterações na marcha, redução da função motora grossa e diminuição da capacidade funcional das crianças acometidas. Diante da diversidade de estratégias terapêuticas disponíveis, o presente estudo teve como objetivo verificar os efeitos de diferentes formas de treino de marcha sobre a função motora e o endurance de crianças com paralisia cerebral, por meio da análise das principais evidências científicas disponíveis. Trata-se de uma revisão de literatura realizada nas bases de dados Scientific Electronic Library Online, Cochrane Library, PubMed e Physiotherapy Evidence Database. Foram incluídos estudos publicados entre 2021 e 2026, com escore igual ou superior a seis na escala Physiotherapy Evidence Database, que investigaram intervenções baseadas no treino de marcha em crianças com paralisia cerebral. A busca inicial identificou 4.645 estudos, dos quais oito atenderam aos critérios de elegibilidade e compuseram a análise final. Os resultados demonstraram que diferentes modalidades de treino de marcha promoveram melhora da função motora grossa, da velocidade e da resistência à marcha, além de benefícios sobre o equilíbrio, a força muscular, o controle motor seletivo e a espasticidade. As abordagens que utilizaram recursos robóticos e exoesqueletos apresentaram resultados superiores em diversos desfechos funcionais, especialmente quando associadas a protocolos individualizados de intensidade adequada. Também foram observadas evidências de adaptações neuroplásticas relacionadas ao aumento da conectividade funcional cerebral após o treinamento. Conclui-se que as diferentes formas de treino de marcha constituem estratégias eficazes para melhorar a função motora e o endurance de crianças com paralisia cerebral, contribuindo para maior independência funcional e qualidade de vida, embora sejam necessários estudos de acompanhamento em longo prazo para confirmar a manutenção desses benefícios.

Palavras-chave: Paralisia cerebral. Treino de marcha. Função motora.

ABSTRACT

Cerebral palsy is a neurological condition that impairs motor development and frequently causes gait abnormalities, reduced gross motor function, and decreased functional capacity in affected children. Given the variety of therapeutic strategies currently available, this study aimed to investigate the effects of different gait training approaches on gross motor function and endurance in children with cerebral palsy through the analysis of the main scientific evidence available. This study is a literature review conducted using the Scientific Electronic Library Online, Cochrane Library, PubMed, and Physiotherapy Evidence Database databases. Studies published between 2021 and 2026 with a Physiotherapy Evidence Database score of six or higher that investigated gait training interventions in children with cerebral palsy were included. The initial search identified 4,645 studies, of which eight met the eligibility criteria and were included in the final analysis. The findings demonstrated that different gait training modalities improved gross motor function, gait speed, and walking endurance, in addition to promoting benefits in balance, muscle strength, selective motor control, and spasticity. Robotic-assisted interventions and wearable exoskeletons showed superior outcomes in several functional measures, particularly when combined with individualized training protocols of appropriate intensity. Evidence of neuroplastic adaptations associated with increased functional brain connectivity following gait training was also observed. It is concluded that different gait training approaches are effective strategies for improving gross motor function and endurance in children with cerebral palsy, contributing to greater functional independence and quality of life. However, further long-term studies are needed to determine the persistence of these benefits.

Keywords: Cerebral palsy. Gait training. Motor function.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
3. METODOLOGIA	11
5. DISCUSSÃO	19
5.1. FUNÇÃO MOTORA GROSSA.....	19
5.2. VELOCIDADE E ENDURANCE DA MARCHA.....	20
5.3. EQUILÍBRIO E CONTROLE POSTURAL.....	21
5.4. FORÇA MUSCULAR E CONTROLE MOTOR SELETIVO.....	21
5.5. ESPASTICIDADE E ADAPTAÇÃO NEUROPLÁSTICA.....	22
6. ANÁLISE GERAL DOS DESFECHOS	24
7. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

A paralisia cerebral (PC), que ocorre de dois a três em cada 1.000 nascidos vivos, tem múltiplas etiologias, resultando em lesão cerebral que afeta o movimento, a postura e o equilíbrio. Os distúrbios do movimento associados à paralisia cerebral são categorizados como espasticidade, discinesia, ataxia ou misto/outro. A espasticidade é o distúrbio do movimento mais comum, ocorrendo em 80% das crianças com paralisia cerebral (VITRIKAS et al., 2020). A prevalência de PC foi encontrada em tendência crescente em estudos feitos antes de 1990, pois houve melhor sobrevivência de bebês prematuros devido aos avanços na tecnologia médica; no entanto, a prevalência diminuiu posteriormente, pois houve uma melhoria no atendimento pré-natal também depois disso. A incidência de PC é considerada estável em estudos epidemiológicos mundiais, mas o manejo de complicações de parto prematuro ainda é um fator contribuinte no aumento da incidência desta doença (MCINTYRE et al., 2022). Em países de baixa e média renda, a prevalência de PC pode ser ainda maior, além disso, podem apresentar uma porcentagem maior de indivíduos com limitações mais graves (FURTADO et al., 2022).

Danos ao cérebro em desenvolvimento antes, durante ou logo após o parto afetam os sistemas neurológico e musculoesquelético, produzindo sintomas como contração anormal dos músculos, alterações posturais e limitação de movimento e atividade, que são acompanhados por distúrbios sensoriais, juntamente com distúrbios perceptivos, problemas cognitivos, incapacidade de comunicação, problemas comportamentais, epilepsia e problemas musculoesqueléticos secundários. (MCINTYRE et al., 2022). Dentro dessas lesões secundárias destaca-se a espasticidade dos membros, atrofia muscular, deformidades esqueléticas, fraqueza muscular e distúrbios de coordenação motora, que limitam a mobilidade da criança e, consequentemente, afetam o desenvolvimento da função motora grossa. Estudos demonstraram que a falha em identificar e corrigir prontamente as deficiências no desenvolvimento da função motora grossa pode levar a déficits motores levando essas crianças a limitações nas atividades da vida diária (AVDs), como caminhar ao ar livre, subir escadas e realizar atividades de autocuidado (LIU et al., 2022).

De acordo com a Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) da Organização Mundial da Saúde (OMS), existem três níveis de funcionamento humano: o corpo ou parte do corpo, a pessoa como um todo e a pessoa como um todo em um contexto social. Na PC, os comprometimentos no nível da estrutura e das funções corporais podem levar

a limitações de atividades e restrições de participação na comunidade. Os comprometimentos motores comuns incluem espasticidade, rigidez, fraqueza, diminuição da taxa de desenvolvimento de força, diminuição da potência e muitos outros. Devido a essas deficiências na estrutura e função do corpo, a atividade de caminhar é frequentemente comprometida em crianças com paralisia cerebral, o que restringe sua participação, afetando negativamente sua saúde e sua capacidade de acompanhar seus colegas. Anormalidades na marcha, incluindo a redução da velocidade, são complicações debilitantes da paralisia cerebral. Dificuldades de mobilidade e de locomoção podem limitar severamente as atividades diárias da criança, afetando sua qualidade de vida e capacidade de interação social (MOREAU et al., 2016).

Sob a perspectiva metodológica, este estudo justifica-se pela importância de se realizar uma síntese crítica e rigorosa das evidências científicas publicadas nos últimos anos (2021 à 2026) sobre o tema. A busca inicial em grandes bases de dados, como a Cochrane Library, PubMed e PEDro, revela um grande volume de publicações que abordam a paralisia cerebral, o que muitas vezes dificulta o acesso rápido do profissional de saúde a estudos de alta qualidade. Ao aplicar critérios de seleção estritos, limitando a inclusão a ensaios clínicos com nota igual ou superior a 6 na escala PEDro, esta revisão de literatura filtra e consolida apenas os achados mais consistentes e seguros da literatura recente. Portanto, o estudo é de suma importância por filtrar o conhecimento científico atual, traduzindo a diversidade de estudos disponíveis em subsídios clínicos claros e confiáveis para a prática profissional.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é de verificar o efeito de diferentes formas de treino de marcha sobre a função motora e o endurance de crianças com paralisia cerebral (PC) de acordo com as principais bases de dados.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão de literatura, realizada a partir da seleção e análise crítica de publicações nacionais e internacionais relacionadas ao tema. A busca dos estudos foi conduzida nas bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Cochrane Library, PubMed e Physiotherapy Evidence Database (PEDro).

Para orientar a pesquisa nas bases Cochrane Library, PubMed, SciELO e PEDro foram utilizadas as palavras chaves: “motor function”, “gait training” e “cerebral palsy”. Como critérios de inclusão, foram considerados estudos publicados no período de 2021 a 2026 e estudos classificados com nota PEDro 6 ou maior.

A PEDro é uma plataforma que proporciona acesso rápido às melhores pesquisas que avaliam os efeitos das intervenções fisioterapêuticas, nessa plataforma só são indexados estudos com os métodos de pesquisas mais rigorosos: ensaios clínicos randomizados, revisões sistemáticas e diretrizes de prática clínica baseadas em evidências. Os ensaios clínicos presentes na PEDro são avaliados de forma independente quanto à qualidade, utilizando a escala PEDro.

Os critérios de exclusão foram artigos que não são disponibilizados gratuitamente de forma íntegra, estudos realizados com populações adultas, estudos que incluam participantes com outras condições neurológicas, síndromes genéticas ou lesões musculoesqueléticas que não sejam decorrentes exclusivamente da PC e estudos cuja intervenção principal não envolva o treino de marcha,

A partir da primeira busca utilizando as palavras chaves selecionadas, aplicou-se o filtro inicial pela leitura dos títulos, mantendo apenas aqueles alinhados ao objetivo do presente estudo. Em seguida, realizou-se um segundo filtro por meio da leitura dos resumos, a fim de verificar a compatibilidade com o objetivo do estudo. Foram excluídos os estudos cujo texto completo não estava disponível de forma gratuita e aqueles que não apresentavam relação direta com a temática proposta.

A busca inicial foi conduzida nas quatro bases de dados selecionadas resultou em um total de 4.645 artigos científicos potencialmente elegíveis. A distribuição das referências identificadas por base de dados demonstrou um volume massivo concentrado na Cochrane Library, com 4.450 estudos, seguida pela Physiotherapy Evidence Database (PEDro) com 103 artigos, pela PubMed com 92 artigos e, por fim, pela base SciELO, que não apresentou nenhuma publicação aplicável aos descritores utilizados.

Após a aplicação dos primeiros filtros metodológicos, restritos ao recorte temporal de janeiro de 2021 a junho de 2026 e à presença das palavras-chave de interesse, procedeu-se à

triagem inicial por meio da eliminação de duplicatas e leitura de títulos. Nesta primeira etapa, um total de 4.565 estudos foram eliminados do montante. Destes, 15 artigos foram excluídos por duplicidade (sendo 12 na base Cochrane e 3 na base PubMed) e 4.550 estudos foram descartados por não apresentarem relação direta com a temática após a leitura isolada dos títulos (4.417 na Cochrane, 91 na PEDro e 42 na PubMed).

Ao término da triagem inicial, 80 artigos foram selecionados para a fase de avaliação de elegibilidade detalhada, distribuídos em 47 artigos da PubMed, 21 da Cochrane e 12 da base PEDro. Essa etapa consistiu na leitura aprofundada dos resumos e, sequencialmente, do texto completo na íntegra. A partir dos critérios específicos de inclusão e exclusão desenhados na metodologia, foram excluídos 69 artigos. Na base PubMed, 47 estudos foram removidos (16 devido à ausência de acesso gratuito ao texto completo, 17 por incompatibilidade temática no resumo e 14 por apresentarem nota inferior a 6 na escala PEDro). Na base Cochrane, 16 artigos foram descartados pela impossibilidade de acesso integral ao conteúdo do texto e 2 por apresentarem nota inferior a 6 na escala PEDro. Na base PEDro, foram registradas 6 exclusões (2 por falta de acesso gratuito, 3 por inadequação temática no resumo e 1 após leitura na íntegra por não responder diretamente à pergunta condutora do estudo).

Após a conclusão de todo o processo de seleção, 8 estudos foram incluídos na presente revisão, sendo 6 provenientes da base PEDro e 2 oriundos da Cochrane Library. O detalhamento do processo de seleção de acordo com o modelo PRISMA encontra-se ilustrado na Figura 1.

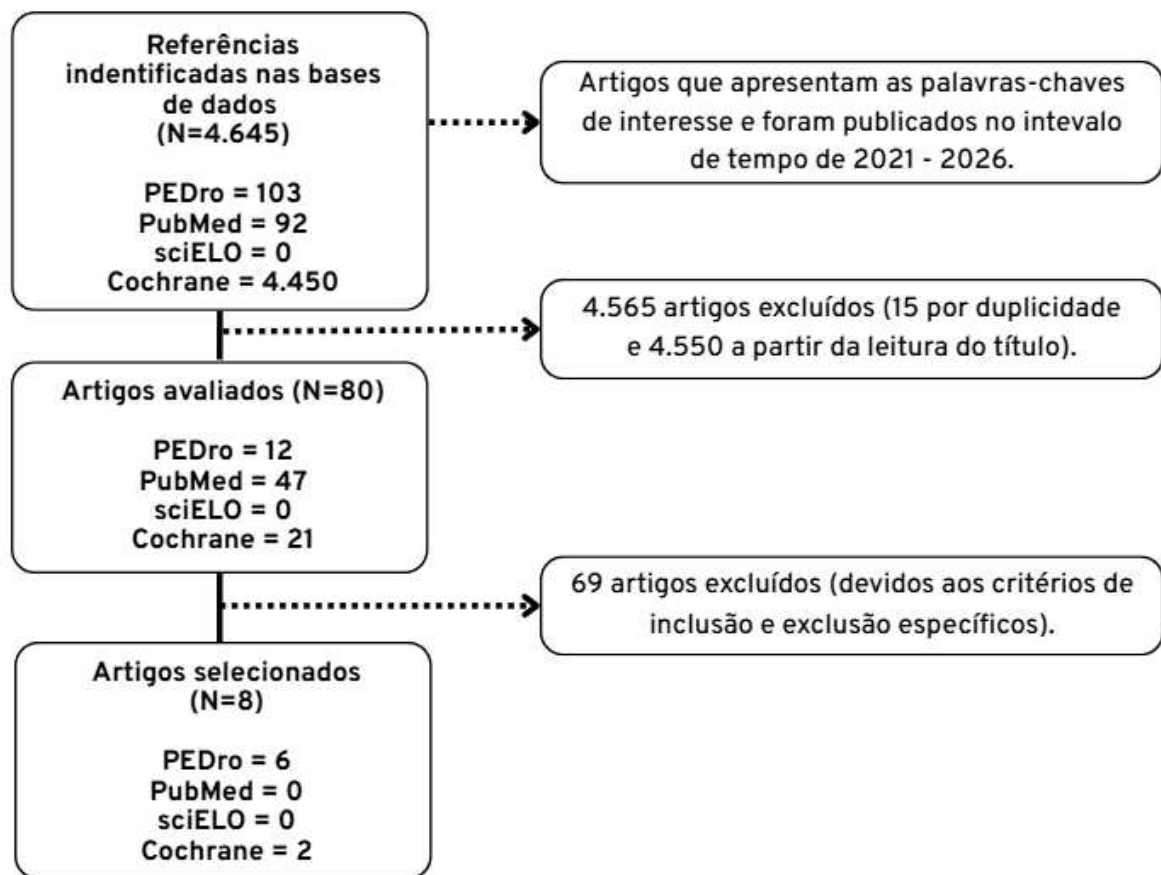


Figura 1. Fluxograma de seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática.

4. RESULTADOS

A partir da aplicação dos critérios de elegibilidade definidos na metodologia, um total de 8 estudos compuseram a análise final desse estudo. De maneira geral, os 8 artigos incluídos investigaram os efeitos de diferentes modalidades de treinamento de marcha, englobando o treinamento locomotor convencional, sistemas de suporte parcial de peso em solo ou esteira, e variados modelos de Terapia de Marcha Assistida por Robô (RAGT), sejam exoesqueletos rígidos ou maleáveis, sobre parâmetros funcionais de crianças com paralisia cerebral. Os principais desfechos avaliados contemplaram a função motora grossa (GMFM-88 e GMFM-66), a velocidade da marcha, a resistência ou endurance (6MWT), o equilíbrio postural e os índices de espasticidade. Os dados essenciais extraídos dos estudos selecionados estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos artigos selecionados para o estudo

TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO DE PUBLICAÇÃO	PERIÓDICO	PRINCIPAIS RESULTADOS
Locomotor and robotic assistive gait training for children with cerebral palsy [with consumer summary] PEDro - 8/10	Pool Dayna, Jane Valentine, Nicolau F. Taylor, Natasha Bear, Catarina Elliott	2021	Developmental Medicine and Child Neurology	Ambos os grupos apresentaram melhora na função motora, independência funcional, velocidade da marcha e desempenho ocupacional. Entretanto, a adição da Terapia de Marcha Assistida por Robô (RAGT) não proporcionou benefícios adicionais em relação ao treinamento locomotor convencional.

Robot-assisted gait training improves walking and cerebral connectivity in children with unilateral cerebral palsy PEDro - 7/10	Laura Julien, Guillemette Moreau-Pernet, Emmanuelle Roquette, Jean-Jacques Lemaire, Bénédicte Pontier, Sacha Bourrand, Bruno Pereira, Carine Chassain, Anna Sontheimer, Catarina Sarret	2024	Pediatric Research	A RAGT promoveu melhora da velocidade e resistência da marcha, além de aumentar a conectividade funcional cerebral. Não houve alterações significativas na função motora grossa nem na conectividade estrutural.
How does treadmill training contribute to botulinum toxin application plus routine physical therapy in ambulatory children with spastic bilateral cerebral palsy? A randomized controlled trial PEDro - 7/10	Kübra Seyhan Bıyık, Mintaze Kerem Günel, Ece Ünlü Akyüz	2022	Irish Journal of Medical Science	O treinamento em esteira associado à fisioterapia convencional após aplicação de Toxina botulínica tipo A (BoNT-A) proporcionou maiores ganhos de força muscular, controle motor seletivo, parâmetros da marcha e mobilidade funcional em comparação à fisioterapia isolada.
Overground Gait Training With a Wearable Robot in Children With Cerebral Palsy PEDro - 6/10	Ja Young Choi, Seung Ki Kim, Juntaek Hong, Hankyul Park, Shin-seung Yang, Dongho Park, Min-Keun Song	2024	JAMA Netw Open	A RAGT com exoesqueleto vestível promoveu melhora da função motora grossa, equilíbrio, padrão da

				marcha e participação funcional, mantendo os ganhos após quatro semanas, sem diferenças na resistência à marcha ou composição corporal.
Training intensity of robot-assisted gait training in children with cerebral palsy PEDro - 6/10	Ja Young Choi, Li Hua Jin, Min Soo Jeon, Min Hwan Kim, Shin-Seung Yang, Min Kyun Sohn	2024	Developmental Medicine and Child Neurology	A intensidade da RAGT influenciou diferentes desfechos: alta intensidade favoreceu a função motora, baixa intensidade melhorou o equilíbrio e intensidade confortável apresentou melhores resultados na funcionalidade diária, indicando necessidade de individualização do tratamento.
Comparison of Integrated Task Oriented Bodyweight Supported Overground Training with Body-Weight Supported Treadmill Training to Improve Functional Mobility in	Nishad Kassim, Monalisa Pattnaik, Patitapaban Mohanty e Mary Kavi	2022	O Biomedical and Pharmacology Journal (BPJ)	Todos os grupos apresentaram melhora, porém o treinamento em solo com suporte de peso e tarefas orientadas foi superior ao treinamento em esteira e ao convencional na função motora e nos parâmetros

Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy - A Single Blinded Randomized Control Trial PEDro - 6/10				da marcha.
Clinical study on the safety and feasibility of AiWalker-K for lower limbs exercise rehabilitation in children with cerebral palsy PEDro 6/10	Yi Zhang, Zhichong Hui, Weihang Qi, Jiamei Zhang, Mingmei Wang, Dengna Zhu	2024	PLoS One	O AiWalker-K associado à terapia convencional promoveu maiores ganhos na função motora, equilíbrio, resistência e padrão da marcha, apresentando segurança clínica e apenas eventos adversos leves.
Efficacy of a Soft Robotic Exoskeleton to Improve Lower Limb Motor Function in Children with Spastic Cerebral Palsy: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial PEDro - 8/10	Hui Z, Qi W, Zhang Y, Wang M, Zhang J, Li D, Zhu D	2024	Brain Sciences	O exoesqueleto flexível promoveu melhora da velocidade e resistência da marcha, equilíbrio, função motora e espasticidade, sendo seguro e mais acessível. Entretanto, seu uso é restrito a pacientes com capacidade prévia de marcha.

Fonte: Autoria própria (2026)

5. DISCUSSÃO

A partir da análise dos textos selecionados e acima referidos, apresentamos na sequência a análise dos desfechos previamente estabelecidos.

5.1. Função Motora Grossa

A função motora grossa representa um dos desfechos primários mais investigados na literatura científica recente acerca da reabilitação da marcha na paralisia cerebral. A aplicação do instrumento *Gross Motor Function Measure* (especificamente as versões GMFM-88 e GMFM-66) demonstrou ser altamente sensível para detectar as modificações e ganhos funcionais longitudinais nessa população, principalmente às dimensões D (colocar-se de pé) e E (andar, correr e pular).

Os achados demonstram que as tecnologias de robótica vestível atuando em solo produzem impactos clinicamente significativos e superiores na função motora grossa quando comparadas aos protocolos clássicos de cinesioterapia. No ensaio conduzido por Choi et al. (2024a), a utilização de um exoesqueleto vestível com assistência de torque em solo promoveu melhoras substanciais tanto no escore total do GMFM quanto na dimensão E. Esse ganho foi atribuído à capacidade do robô de fornecer uma assistência sob demanda, incentivando a participação ativa da criança na exploração do ambiente e gerando um volume de treinamento intensivo indispensável para o aprendizado motor. De forma paralela, a robótica maleável e flexível, investigada por Hui et al. (2024), também confirmou a evolução expressiva no escore do GMFM-88, reforçando que o uso combinado de sistemas que assistem o movimento biomecânico potencializa a função motora dos membros inferiores.

Por outro lado, a literatura estabelece importantes ponderações a respeito do nível de gravidade motora dos participantes (classificados pelo sistema GMFCS). Dayna et al. (2021) avaliaram crianças com acometimentos mais graves (GMFCS níveis III, IV e V) e observaram que, embora o treinamento de marcha promova melhorias ao longo do tempo em todos os grupos, a adição da Terapia de Marcha Assistida por Robô (RAGT) não gerou benefícios adicionais significativos nas habilidades motoras grossas ou na velocidade da marcha em comparação ao treinamento locomotor convencional. Esse achado sugere que, para indivíduos com limitações funcionais severas, o estímulo básico do treinamento locomotor, seja em esteira com suporte parcial de peso ou em solo, já atua como um estímulo viável para a manutenção ou ganho de habilidades motoras grossas.

Adicionalmente, a parametrização do treino desempenha um papel crucial na magnitude desses resultados. Ao estratificar o treinamento de marcha robótico por diferentes intensidades,

Choi et al. (2024b) demonstraram que os grupos submetidos a treinos de alta intensidade e intensidade moderada obtiveram os maiores ganhos na função motora grossa (GMFM dimensões D e E). Esse fenômeno corrobora os princípios do aprendizado motor baseados na repetição massiva e no treino cardiovascular, os quais induzem modificações corticais necessárias para a consolidação de novas sinapses funcionais.

5.2.Velocidade e Endurance da Marcha

A capacidade de velocidade da marcha e de resistência à fadiga (endurance) correlaciona-se diretamente com o nível de independência e participação social de crianças com paralisia cerebral. Os testes de caminhada de 10 metros (10mWT) e de 6 minutos (6MWT) foram amplamente utilizados para mensurar esses componentes.

Os sistemas que utilizam robótica maleável (SRE) destacam-se por favorecer um ganho expressivo tanto na velocidade quanto no endurance. Conforme demonstrado por Hui et al. (2024), por funcionarem através de sensores de unidades de medição inercial (IMUs) que detectam a real intenção de movimento da criança, esses dispositivos estimulam o treino estritamente ativo. O reflexo clínico dessa tecnologia é a manutenção dos benefícios de velocidade e endurance mesmo na marcha livre, ou seja, após a retirada do aparelho, sugerindo transferência dos ganhos funcionais para a marcha sem o dispositivo.

O sistema robótico de curto prazo *G-EO*, analisado por Julien et al. (2024) em crianças com PC unilateral, também induziu um aumento significativo na velocidade de marcha espontânea (com e sem o uso de órteses) e na distância total percorrida no 6MWT após apenas duas semanas de intervenção, demonstrando eficácia clínica mesmo em protocolos de curta duração.

No que tange ao ambiente e ao desenho do protocolo de reabilitação, o estudo de Kassim et al. (2022) trouxe um contraponto de extrema relevância clínica ao comparar o Treinamento de Marcha com Suporte de Peso em Solo (BWSOGT) com o Treinamento em Esteira com Suporte de Peso (BWSTT). Os resultados apontaram a superioridade estatística do treino realizado em solo sobre a esteira tradicional no ganho de velocidade da marcha, comprimento da passada bilateral e cadência. A justificativa reside no fato de o protocolo em solo ter sido conduzido em ambiente aberto, englobando superfícies irregulares, rampas e atividades lúdicas integradas (como passar e pegar bolas). Esse modelo dinâmico exige maior variabilidade motora e impõe demandas biomecânicas realistas que simulam o cotidiano da criança, mostrando-se superior ao ambiente fechado e monótono da esteira ergométrica.

5.3. Equilíbrio e Controle Postural

O equilíbrio e o controle postural são componentes fundamentais para uma marcha segura e funcional em crianças com paralisia cerebral. Alterações nesses aspectos comprometem a mobilidade, a independência funcional e a participação nas atividades diárias. Conforme descrito por Liu et al. (2022), intervenções fisioterapêuticas direcionadas ao treinamento motor podem promover melhora do equilíbrio e da funcionalidade nessa população. Na literatura avaliada, a estabilidade corporal foi mensurada predominantemente por meio da Pediatric Balance Scale (PBS) e de plataformas estabilométricas computadorizadas.

Os estudos incluídos nesta revisão sugerem efeitos favoráveis das abordagens tecnológicas sobre o equilíbrio quando comparados às abordagens convencionais. Zhang et al. (2024) verificaram que a associação do dispositivo de reabilitação robótica *AiWalker-K* com a terapia de rotina gerou melhoras estatisticamente superiores na escala PBS. De forma semelhante, o exoesqueleto vestível avaliado por Choi et al. (2024a) resultou em ganhos significativos no equilíbrio postural, com o diferencial de manutenção e consolidação desses benefícios durante o período de acompanhamento de quatro semanas após o término das intervenções.

Uma nuance metodológica essencial sobre o equilíbrio foi identificada por Choi et al. (2024b) ao analisarem o impacto das intensidades de treino. Curiosamente, enquanto a alta intensidade favoreceu as notas do GMFM em relação à função motora grossa, apenas o grupo submetido ao treinamento de baixa intensidade alcançou melhora significativa no controle do equilíbrio (avaliado pelo Índice de Estabilidade Biodex). Do ponto de vista neurofisiológico, infere-se que velocidades de marcha mais baixas e confortáveis reduzem a pressa de execução e demandam maior tempo de permanência em apoio unipodal, exigindo que a criança processe e refine com maior precisão os ajustes posturais antecipatórios e as correções de centro de massa, um dado clínico valioso para a prescrição individualizada.

5.4. Força Muscular e Controle Motor Seletivo

A fraqueza muscular e o déficit no controle motor seletivo (capacidade de isolar movimentos articulares sem a interferência de sinergias em massa) são marcas registradas da lesão do neurônio motor superior na paralisia cerebral, limitando diretamente a qualidade biomecânica da marcha.

O treinamento estruturado de marcha atua de maneira proeminente quando inserido em abordagens combinadas ou adjuvantes, como no caso do manejo farmacológico da

espasticidade. Bıyık et al. (2022) investigaram o impacto do treinamento em esteira associado à fisioterapia logo após a aplicação multinível de Toxina Botulínica Tipo A (BoNT-A) em crianças com diplegia espástica bilateral. O grupo que realizou o treino de marcha na esteira apresentou ganhos significativamente maiores na força dos músculos flexores e extensores do quadril, bem como no controle motor seletivo do tornozelo (escala SCALE) em curto prazo. Esse achado reforça que a remoção temporária da hiperatividade reflexa gerada pela medicação abre uma janela de oportunidade terapêutica, contudo, o ganho de força proximal e o controle do tornozelo dependem do estímulo dinâmico e repetitivo fornecido pelo treino de marcha estruturado para o fortalecimento das cadeias cinéticas.

Inversamente, o uso isolado de robôs rígidos ou vestíveis parece ter menor influência na seletividade isolada. Tanto nos estudos com exoesqueleto vestível em solo (CHOI et al., 2024a) quanto com o dispositivo *AiWalker-K* (ZHANG et al., 2024), não foram detectadas diferenças significativas entre os grupos no controle motor seletivo avaliado pela escala SCALE em comparação com a fisioterapia convencional. Isso indica que a assistência mecânica padronizada e o torque fornecido pelos motores robóticos auxiliam na coordenação global da marcha, mas podem não ser suficientes para modular de forma isolada o recrutamento de vias corticoespinhais específicas ligadas à seletividade articular fina individual.

5.5. Espasticidade e Adaptações Neuroplásticas

A modulação do tônus e as modificações estruturais no sistema nervoso central representam os mecanismos intrínsecos que justificam a estabilização dos ganhos motores na pediatria. A redução da espasticidade (mensurada pela Escala de Ashworth Modificada - MAS) foi associada positivamente à reabilitação robótica.

Hui et al. (2024) demonstraram uma redução expressiva da espasticidade de membros inferiores com o uso de exoesqueletos flexíveis (SRE). A explicação clínica repousa na facilitação neuromuscular proprioceptiva de padrões de movimento corretos, repetitivos e simétricos que promovem o alongamento muscular, regulando a excitabilidade do reflexo miotático de estiramento.

A comprovação mais robusta das adaptações neuroplásticas associadas a esses protocolos foi documentada por Julien et al. (2024). Ao utilizarem técnicas avançadas de neuroimagem, os autores demonstraram que o treinamento de marcha assistido por robô repetitivo de curto prazo causou um aumento estatisticamente significativo na conectividade funcional da rede sensório-motora em repouso (rs-SMN), observado via ressonância magnética funcional um mês após a intervenção. Paralelamente, não foram detectadas mudanças na

conectividade estrutural macroscópica do trato corticoespinal (via Ressonância Magnética por Tensor de Difusão - DTI). Esse achado é de fundamental importância, pois comprova cientificamente que as melhorias na velocidade e resistência da marcha induzidas pela terapia robótica não decorrem de alterações estruturais anatômicas nas vias, mas sim de uma reorganização funcional e otimização da eficiência das redes sinápticas cerebrais preexistentes, validando o conceito de neuroplasticidade adaptativa na fisioterapia neurofuncional pediátrica.

6. ANÁLISE GERAL DOS DESFECHOS

A análise conjunta e integrada dos estudos selecionados demonstra que o treinamento de marcha produz efeitos predominantemente positivos sobre a função motora e o endurance de crianças com paralisia cerebral (PC), apresentando elevada robustez e concordância na literatura recente para ambas as variáveis. Os dados evidenciam que inovações tecnológicas, como os exoesqueletos vestíveis em solo e os robôs flexíveis (SRE), superam a cinesioterapia convencional no ganho de escores da função motora grossa (GMFM-88 e GMFM-66 nas dimensões D e E) e incrementam de forma expressiva o endurance mensurado pela distância percorrida no Teste de Caminhada de 6 Minutos (6MWT) (CHOI et al., 2024a; HUI et al., 2024). Esse processo de otimização funcional e de resistência é impulsionado pelo estímulo ativo sob demanda fornecido pelos dispositivos (CHOI et al., 2024a), correlacionando-se diretamente com modificações reais na conectividade funcional da rede sensório-motora cerebral em repouso (JULIEN et al., 2024). Verificou-se também que diferentes formas de treino alteram esses desfechos de maneira específica: enquanto parâmetros de alta intensidade e o uso de suporte de peso em solo com atividades lúdicas (BWSOGT) potencializam a velocidade e a função motora grossa (CHOI et al., 2024b; KASSIM et al., 2022), o ganho de endurance e força proximal expressou melhorias adicionais consistentes quando o treino foi associado a coadjuvantes terapêuticos, a exemplo do treinamento em esteira executado logo após a aplicação de toxina botulínica tipo A (BIYIK et al., 2022).

7. CONCLUSÃO

O presente estudo cumpriu seu objetivo ao verificar nas principais bases de dados, que as diferentes formas de treino de marcha produzem efeitos positivos e clinicamente relevantes sobre a função motora e o endurance de crianças com paralisia cerebral. Os achados indicam que tanto as abordagens convencionais em esteira quanto os sistemas de alta tecnologia robótica promovem incrementos significativos na motricidade grossa e na resistência, sustentados cientificamente por mecanismos de neuroplasticidade funcional demonstrados pelo aumento da conectividade em redes sensório-motoras encefálicas (JULIEN et al., 2024). A verificação das evidências revelou que não há um protocolo único universal para o alcance dessas metas. Parâmetros de intensidade confortável a alta e o treino com exoesqueleto de torque em solo impulsionam de forma superior os ganhos brutos de função motora (CHOI et al., 2024a; CHOI et al., 2024b), ao passo que o incremento do endurance e da capacidade de deambulação contínua é otimizado de maneira expressiva por sistemas robóticos maleáveis e treinos dinâmicos integrados a atividades lúdicas em ambiente aberto (HUI et al., 20024; KASSIM et al., 2022). Conclui-se que as diferentes formas de treino de marcha são estratégias terapêuticas eficazes e fundamentais para a evolução da função motora e do endurance na paralisia cerebral, demandando a continuidade de pesquisas focadas no acompanhamento em longo prazo para avaliar a retenção duradoura desses benefícios.

REFERÊNCIAS

BAKER, Aubrey et al. Effect of motor intervention for infants and toddlers with cerebral palsy: systematic review and meta-analysis. *Pediatric Physical Therapy*, v. 34, n. 3, p. 297–307, jul. 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9574888/>.

BIYIK, K. S.; GÜNEL, M. K.; AKYÜZ, E. Ü. How does treadmill training contribute to botulinum toxin application plus routine physical therapy in ambulatory children with spastic bilateral cerebral palsy? A randomized controlled trial. *Irish Journal of Medical Science*, v. 192, n. 1, p. 209-217, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11845-022-02960-9>.

CHIU, Hsiu-Ching; ADA, Louise; BANIA, Theofani A. Mechanically assisted walking training for walking, participation, and quality of life in children with cerebral palsy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, v. 2020, n. 11, Art. No. CD013114, 2020. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8092676/>.

CHOI, Ja Young et al. Overground Gait Training With a Wearable Robot in Children With Cerebral Palsy: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*, v. 7, n. 7, p. e2422625, jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2422625>.

CHOI, Ja Young et al. Training intensity of robot-assisted gait training in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, v. 66, n. 8, p. 1096-1105, ago. 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/dmcn.15834>.

DIRETRIZES de Atenção à Pessoa com Paralisia Cerebral. Brasília: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/saude-da-pessoa-com-deficiencia/publicacoes/diretrizes-de-atencao-a-pessoa-com-paralisia-cerebral.pdf/view>.

FURTADO, Michelle A. S. et al. Physical therapy in children with cerebral palsy in Brazil: a scoping review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, v. 64, n. 5, p. 550-560, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/dmcn.15067>.

JULIEN, Laura et al. Robot-assisted gait training improves walking and cerebral connectivity in children with unilateral cerebral palsy. *Pediatric Research*, v. 96, n. 5, p. 1306-1315, out. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03240-1>.

KASSIM, Nishad et al. Comparison of Integrated Task Oriented Bodyweight Supported Overground Training with Body-Weight Supported Treadmill Training to Improve Functional Mobility in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy - A Single Blinded Randomized Control Trial. *Biomedical and Pharmacology Journal*, v. 15, n. 2, p. 745-754, jun. 2022. Disponível em: <https://biomedpharmajournal.org/vol15no2/comparison-of-integrated-task-oriented-bodyweight-supported-overground-training-with-body-weight-supported-treadmill-training-to-improve-functional-mobility-in-children-with-spastic-diplegic-cerebral/>.

KLOBUCKÁ, Stanislava et al. Cost-effectiveness analysis of robot-assisted gait training in patients with bilateral spastic cerebral palsy. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, v. 21, n. 1, p. 1-11, art. 60, set. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12962-023-00475-3>.

LIU, Wei et al. Effect of Virtual Reality on Balance Function in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, v. 10, art. 865474, abr. 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9081327/>.

MCINTYRE, Sarah et al. Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, v. 64, n. 12, p. 1494–1506, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/dmcn.15346>.

MOREAU, Noelle G. et al. Effectiveness of Rehabilitation Interventions to Improve Gait Speed in Children With Cerebral Palsy: Systematic Review and Meta-analysis. *Physical Therapy*, v. 96, n. 12, p. 1938–1954, dez. 2016. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5131187/>.

POOL, Dayna et al. Locomotor and robotic assistive gait training for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, v. 63, n. 3, p. 287-293, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14746>.

VITRIKAS, Kristen; DALTON, Heather; BREISH, Dakota. Cerebral Palsy: An Overview. *American Family Physician*, v. 101, n. 4, p. 213-220, fev. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32053326/>.

ZHANG, Yi; HUI, Zhichong; QI, Weihang; ZHANG, Jiamei; WANG, Mingmei; ZHU, Dengna. Clinical study on the safety and feasibility of AiWalker-K for lower limbs exercise rehabilitation in children with cerebral palsy. *PLoS One*, v. 19, n. 5, p. e0303517, maio 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11111022/>.