

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO VESTÍVEL PARA REABILITAÇÃO E ANÁLISE DE PARÂMETROS BIOMECÂNICOS DA MARCHA

Leonardo Willers Alves Pinto; Ana Grasielle Dionísio Corrêa; Bruno da Silva Rodrigues

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

A tecnologia vem avançando em diversas áreas, principalmente na área da saúde, e o uso de tecnologias vestíveis para auxiliar a recuperação de pacientes em diversos aspectos já é uma realidade, e vem demonstrando resultados assertivos. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma tecnologia vestível com foco para auxiliar na fisioterapia dos membros inferiores de pacientes, onde conseguimos realizar uma coleta de parâmetros da marcha (ângulo dos pés em relação ao solo), deste modo conseguindo fazer uma análise muito mais precisa do paciente, apresentando uma avaliação detalhada, demonstrando por meio de gráficos os movimentos da marcha. A sua elaboração tem como base a utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e sensores inerciais, fazendo deste modo que o custo para construção seja bem mais acessível. Pesquisas feitas com profissionais da área de fisioterapia mostram que o desenvolvimento de tal ferramenta seria fundamental para auxiliar tanto o profissional, quanto o paciente que teria uma recuperação bem mais divertida e com mais resultados.

Palavras-chave: tecnologia vestível, fisioterapia, membros inferiores, reabilitação

ABSTRACT

Technology has been advancing in several areas, mainly in the health area, and the use of wearable technologies to help patients' recovery in several aspects is already a reality, and has been showing assertive results. This article presents the development of a wearable technology with a focus to assist in the physiotherapy of patients' lower limbs. Its preparation is based on the use of the Arduino electronic prototyping platform and inertial sensors, thus making the cost of construction much more affordable. Research carried out with professionals in the field of physiotherapy show that the development of such a tool would be essential to help both the professional and the patient, who would have a much more fun recovery with more results.

Keywords: wearable technology, physiotherapy, lower limbs, rehabilitation

1. INTRODUÇÃO

A crescente popularidade dos componentes eletrônicos como sensores, processadores e bateria favoreceu o crescimento de produtos eletrônicos de alto desempenho e baixo consumo de energia. Um exemplo é a crescente demanda pelo consumo de tecnologias vestíveis (do inglês, wearables), ou seja, tecnologias que podem ser usadas como peças de vestuário tais como roupas, relógios e pulseiras (NIKNEJAD et al., 2020; PARK et al., 2014). Esses dispositivos são fabricados com materiais altamente tecnológicos que facilitam o dia a dia das pessoas e garantem um melhor desempenho em atividades esportivas, monitoram a saúde e oferecem maior segurança em atividades profissionais.

Na área da saúde, os dispositivos vestíveis podem ser usados para monitorar aspectos fisiológicos relevantes, tais como frequência cardíaca e respiratória, pressão sanguínea e oxigenação arterial, usando uma combinação de métodos não-invasivos. (SINNAPOLU; ALAWNEH, 2018; JALLOUL 2018). Mais especificamente na área da fisioterapia motora, os dispositivos vestíveis podem ser úteis na aquisição de dados cinemáticos como velocidade e direção dos movimentos, ângulo entre as articulações, estabilidade dos membros, entre outros (TAO et al., 2012; PORCIUNCULA et al., 2018; REFAI et al., 2018; BIJALWAN et al., 2021).

Nos últimos anos os dispositivos vestíveis começaram a ser introduzidos em ambientes clínicos para avaliações biomecânicas da marcha e equilíbrio (SHANAHAN et al., 2018; MARSICO; MECCA, 2019; YANG et al., 2021). Os sistemas vestíveis fabricados com sensores de pressão e inercial, são menos precisos e fornecem menos detalhes, quando comparados aos sistemas de análise biomecânica não vestíveis (sistemas de captura de movimento, plataformas de força e passarelas incorporadas por sensores), mas podem ser usados em ambientes comunitários, inclusive naqueles localizados em zonas rurais, e podem fornecer feedback em tempo real para pacientes e médicos (SHANAHAN et al., 2018).

Ainda no campo da saúde, os dispositivos vestíveis podem também ser usados como recurso para promover a reabilitação motora dos membros inferiores. O Trabalho de Ferreira et al. (2020) mostrou o desenvolvimento de um sistema composto por um calçado equipado com acelerômetro para controle de um jogo digital no computador. O jogo foi concebido de forma a estimular movimentos de dorsiflexão e flexão plantar dos pés. O sistema foi avaliado, em um estudo piloto de 30 minutos, por um fisioterapeuta e duas crianças, sendo uma delas com pé torto congênito. Os autores relataram que o sistema foi útil para engajar os pacientes na terapia.

Neste artigo apresentamos o desenvolvimento de um sistema denominado “Ankle ClubeFoot Shoes - ACFS” para realizar coleta de parâmetros da marcha (ângulo dos pés em relação ao

solo). O dispositivo constitui-se de um calçado (tênis) que foi equipado com sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio). Uma placa de prototipagem Arduino, conectado ao tênis, coleta dados dos sensores e os transmite para um computador, via radiofrequência 2.4GHz. Os dados coletados pelos sensores são processados e apresentados em forma de gráficos mostrando a movimentação do tornozelo (ângulos) durante as fases da marcha (contato inicial, apoio terminal; final de apoio e balanço). Adicionalmente, um módulo robótico, desenvolvido com Arduino, foi concebido para auxiliar o terapeuta nas tarefas de reabilitação motora dos pés. O módulo robótico é responsável por controlar dois motores fixados em um chassi através de uma ponte H. Assim como ocorre no sistema de coleta de parâmetros da marcha, o modelo robótico recebe as informações de controle do tênis via radiofrequência, onde os movimentos de inversão, eversão, flexão plantar e flexão dorsal, são responsáveis por movimentar o robô para direita, para esquerda, para frente e para trás. Após finalizar o sistema de análise de marcha e modelo robótico, os protótipos foram apresentados para oito profissionais de fisioterapia com intuito de validar requisitos iniciais e conhecer a opinião deles acerca do potencial de aplicabilidade do dispositivo em ambientes ambulatoriais. Os resultados são apresentados neste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ANÁLISE BIOMECÂNICA DA MARCHA

A marcha humana se caracteriza por uma sequência de movimentos suaves, regulares e cíclicos que promovem o deslocamento do corpo entre dois pontos de maneira segura e eficiente (BARBOSA, 2011). Segundo Perry (2005), essa sequência de movimento envolve uma série de interações entre os membros inferiores, a identificação dos numerosos eventos que ocorrem durante o deslocamento necessita de uma visão da marcha sobre diferentes aspectos. Para que seja possível a análise da marcha nos seus diferentes aspectos, é necessário realizar uma segmentação temporal do movimento (ciclo de marcha ou fase da marcha), onde cada etapa do ciclo é analisada. Na figura 1 temos uma representação da análise da marcha segmentada em fase de apoio e fase de balanço.

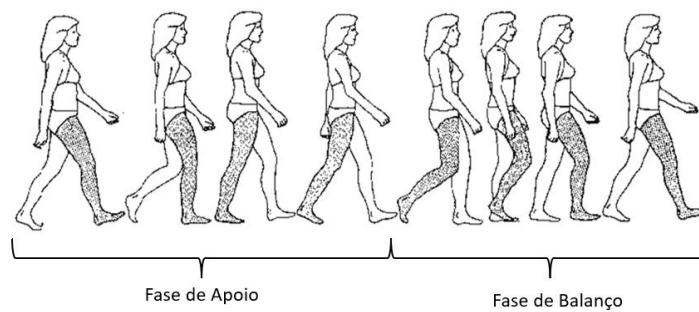


Figura 1. Fases da marcha (ROSE & GAMBLE, 1998)

A fase de apoio é caracterizada pelo período durante o qual o pé está em contato com o chão e a fase de balanço, caracterizada pelo período em que o pé está no ar (em deslocamento) para realizar o avanço do pé, além dessa segmentação inicial, a fase de apoio é subdividida em cinco outros intervalos: contato inicial, resposta a carga, apoio médio, apoio terminal e pré-balanço. Após segmentar o movimento em ciclos, para realizar uma análise da marcha devemos levar em consideração a cinemática e a cinética dos movimentos em cada fase da marcha.

Segundo Pantoja (2020), cinemática busca medir os parâmetros cinemáticos do movimento, ou seja, posição, orientação, velocidade e aceleração. A cinemática é utilizada para: medidas de tempo, utilizando-se de cronômetros para a base de tempo; medidas de ângulos, utilizando-se de goniômetro para a determinação da posição de segmentos com origem em eixos articulares; medidas de aceleração, utilizando-se de acelerômetros que são transdutores designados a quantificar a quantidade de movimento pela posição de uma massa em deslocamento. Logo, uma análise cinemática envolve a direção do movimento para determinar qual a rapidez com que um objeto (segmento do corpo) está se movendo, qual a altura e a distância que ele atinge (BARBOSA, 2011; Portal Educação, 2020). Já a análise cinética busca examinar as forças que agem sobre um sistema, como o corpo humano ou qualquer objeto (BARBOSA, 2011; Portal Educação, 2020). A área de análise cinética do movimento tenta definir as forças que provocam um movimento.

Portanto, através dessas duas análises é possível avaliar tanto as características que compõem o movimento de um segmento do corpo humano, seu grau de dificuldade e as forças atuantes para a execução do movimento. Apesar da análise da marcha englobar a avaliação da cinética, assim como da cinemática de estruturas como Tornozelo, pé, joelho, quadril, entre outras (Perry, 2005), esse trabalho de iniciação científica limitou-se ao estudo a análise da cinemática do complexo tornozelo-pé.

A função normal do complexo tornozelo-pé durante a marcha pode ser caracterizada como uma sequência alternada de movimentos de dorsiflexão (elevar a ponta do pé na direção da

tíbia) e flexão plantar (elevar o calcanhar em relação ao solo), no entanto, existem seis tipos de movimentos básicos do pé (Caetano, 2020): abdução e adução, inversão e eversão, flexão dorsal e flexão plantar. Este estudo limitou-se ao estudo dos movimentos de flexão plantar e dorsiflexão. Para analisar esses movimentos é preciso definir os seguintes planos de referência (Figura 1):

- Plano frontal: é o plano que separa a parte anterior do pé da parte posterior. Este plano passa sensivelmente pelo tornozelo.
- Plano sagital: é o plano que divide a parte medial (parte interna do pé) da parte lateral (parte externa do pé). Este plano passa pelo eixo do pé.
- Plano transversal: é o plano que divide a parte superior da parte inferior do pé.

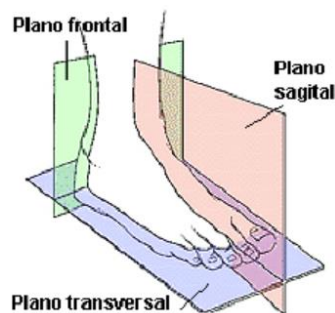


Figure 1. Planos de referência (caetano, 2020)

O movimento dorsiflexão e flexão plantar é realizado no plano sagital (plano de progressão), enquanto os eixos de rotação situam-se nos planos frontal e transversal (movimentos de eversão e inversão). Ao analisar a cinemática do complexo tornozelo-pé no plano sagital o terapeuta pode observar desvios da marcha conhecidos como flexão plantar excessiva e dorsiflexão excessiva (Perry, 2005).

A flexão plantar excessiva pode comprometer a progressão do indivíduo obstruindo o avanço do membro pois afeta diretamente o comprimento do passo, reduz a velocidade da marcha e pode ocasionar ações compensatórias como dificuldade para manter a postura vertical. Já a dorsiflexão excessiva pode ocasionar instabilidades e sobre carga do quadríceps durante a marcha causando um avanço excessivo da tíbia e conseqüentemente uma dificuldade para estender o joelho.

2.2. TECNOLOGIAS VESTÍVEIS NA ANÁLISE DA MARCHA

Tecnologias vestíveis podem auxiliar na análise da marcha, fornecendo parâmetros espaço-temporais úteis para investigar a progressão dos problemas da marcha em pacientes hospitalizados ou que se encontram em tratamento domiciliar (BROGNARA et al., 2019). As pulseiras inteligentes, por exemplo, são dispositivos eficazes para auxiliar na contagem de

passos de pacientes hospitalizados, o que viabiliza um melhor diagnóstico sobre sua saúde, principalmente quando esses pacientes possuem diabetes ou obesidade.

Existem esforços também no sentido de aprimorar os algoritmos de processamento de sinais advindos dos sensores. Rega (2018), por exemplo, utilizou um acelerômetro e um giroscópio para implementar e comparar algoritmos de detecção de contagem de passos levando em consideração a posição anatômica do sensor e da velocidade a qual o paciente se locomove. O autor levou em consideração o posicionamento anatômico do sensor (tornozelo e punho) e a velocidade de locomoção do paciente de forma a eleger o algoritmo mais adequado para a implementação em uma pulseira inteligente.

Nascimento (2019) desenvolveu um dispositivo vestível, baseado em sensores inerciais e rede neural artificial para a identificação do tipo de pisada durante a marcha. O dispositivo contém uma central responsável pelo agrupamento e transmissão dos sinais. Os dois módulos inerciais ficam dispostos um na face posterior do osso calcâneo e outro no músculo gastrocnêmio. A recepção e armazenamento dos dados é realizado em um computador por meio do protocolo WiFi.

Apesar dos resultados promissores, desenvolver dispositivos vestíveis de baixo custo com intuito de obter dados precisos para utilização em avaliações clínicas ainda é um desafio. Nos últimos anos vários métodos e ferramentas com variabilidade muito alta foram desenvolvidas (BROGNARA et al., 2019). Outro desafio é que a coleta de dados deve ser simples, evitando que o paciente seja colocado em situações de risco e/ou estresse, pois estas situações podem influenciar nos resultados obtidos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo possui caráter exploratório e descritivo, do tipo estudo de caso. Uma equipe multidisciplinar, composta por pesquisadores das áreas de Ciência da Computação (aluno de iniciação científica e seus respectivos orientador e co-orientador) concebeu o sistema; enquanto fisioterapeutas forneceram requisitos e validaram a ideia do sistema do ponto de vista de aplicabilidade. Inicialmente coube à equipe de desenvolvimento especificar, projetar e implementar o sistema. Na sequência um grupo de 8 especialistas em reabilitação motora avaliou o sistema previamente do ponto de vista de aplicabilidade. Os resultados são apresentados a seguir.

3.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ACFS

O sistema “Ankle ClubeFoot Shoes - ACFS” é composto por três módulos (Figura 2): módulo

de detecção de movimentos com uso de sensores acoplado no tênis (dispositivo vestível); módulo robótico (carrinho de controle remoto); módulo de armazenamento e análise de dados (base de dados). Inicialmente, o usuário calça o tênis equipado com os sensores e a placa Arduino (dispositivo vestível); esse dispositivo se comunica, opcionalmente, com um módulo robótico através de um radiotransmissor; nesse momento o terapeuta pode instruir o paciente a controlar o módulo robótico com os pés, fazendo movimentos de inversão (virar à direita), eversão (virar à esquerda), flexão plantar (seguir em frente), flexão dorsal (voltar de ré). Neste primeiro protótipo, os movimentos de flexão plantar e dorsiflexão são enviados para uma base de dados no computador local onde o sistema estiver conectado.

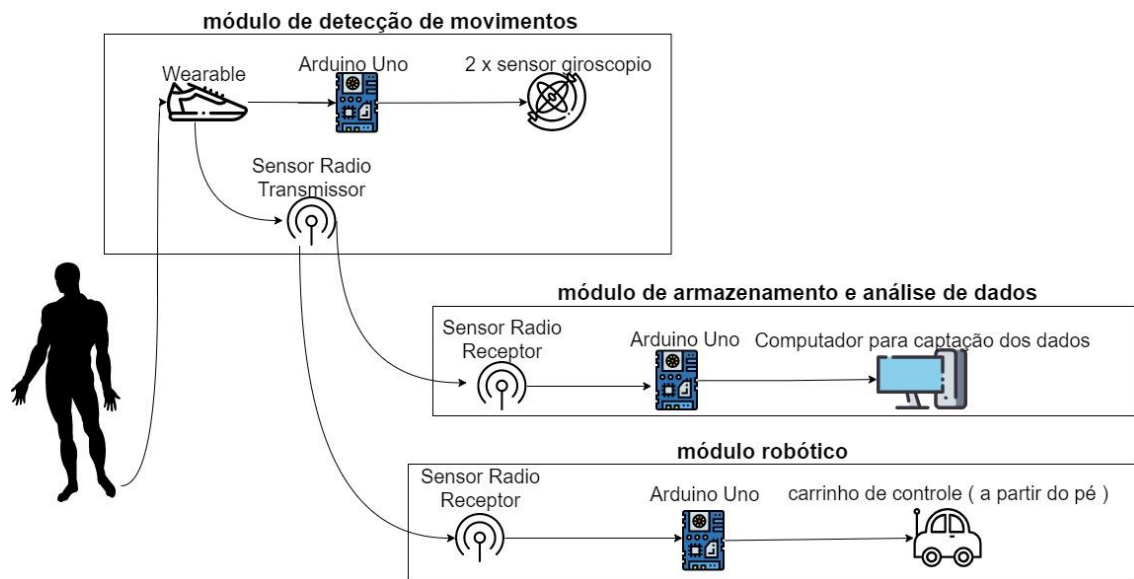


Figura 2. Módulos do Sistema ACFS

Módulo de Detecção de Movimentos (dispositivo vestível)

O dispositivo vestível é constituído de um tênis (Figura 3) equipado com dois sensores composto de giroscópio e acelerômetro (mpu6050), um para detectar os movimentos no eixo X (porta serial 0x68) e outro para detectar os movimentos no eixo Y (porta serial 0x69). Ambos os sensores são controlados por um microprocessador Arduino modelo Uno. O Arduino tem como fonte de energia uma bateria de 9v. Ele é composto de um transmissor e um receptor. O transmissor é composto de um sensor de radiofrequência nrf24l01. Já o receptor recebe os sinais dos eixos dos sensores mpu6050 (0x68 e 0x69). Dessa forma, torna-se possível comandar dois motores que permanecem ligados enquanto controlam o módulo robótico (carrinho).

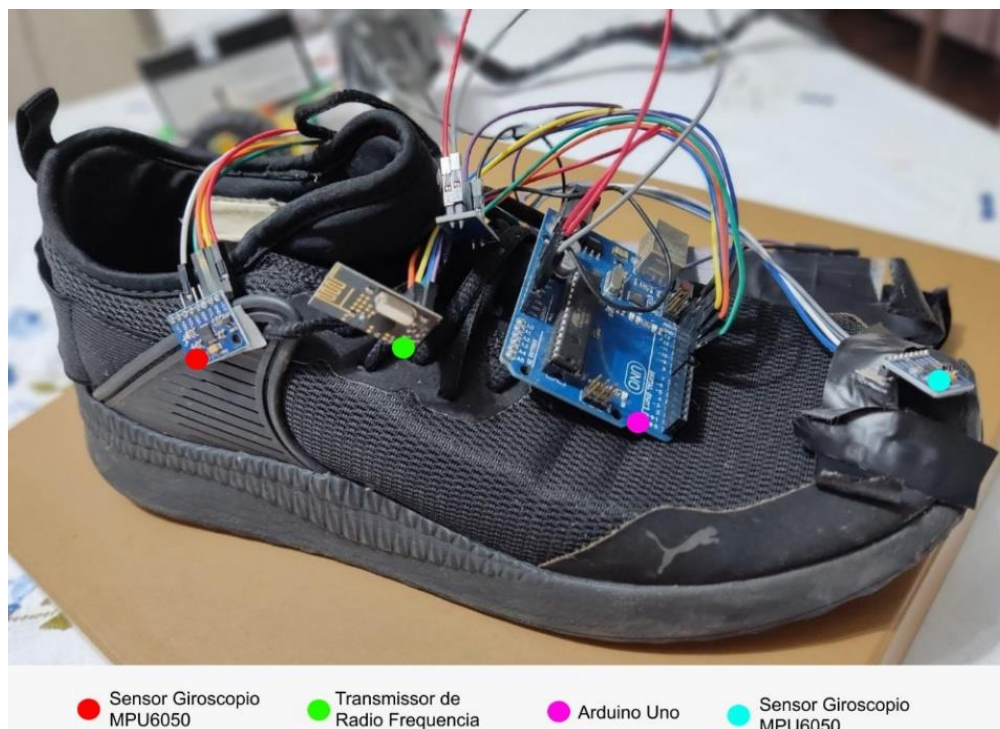


Figura 3. Dispositivo vestível

Módulo Robótico para Reabilitação do Pé

O módulo robótico (Figura 4) foi concebido como acessório opcional para apoiar a reabilitação motora do pé. É constituído de um chassi 2wd, um microprocessador Arduino uno ligado a um sensor de radiofrequência que recebe e envia sinais para um controlador responsável por movimentar os motores para frente e para trás, para direita e esquerda, fazendo o robô se movimentar a partir dos movimentos dos pés para um projeto futuro iremos colocar os sensores em um case para conseguir encaixar em vários tênis não só ficar preso em um único tamanho.

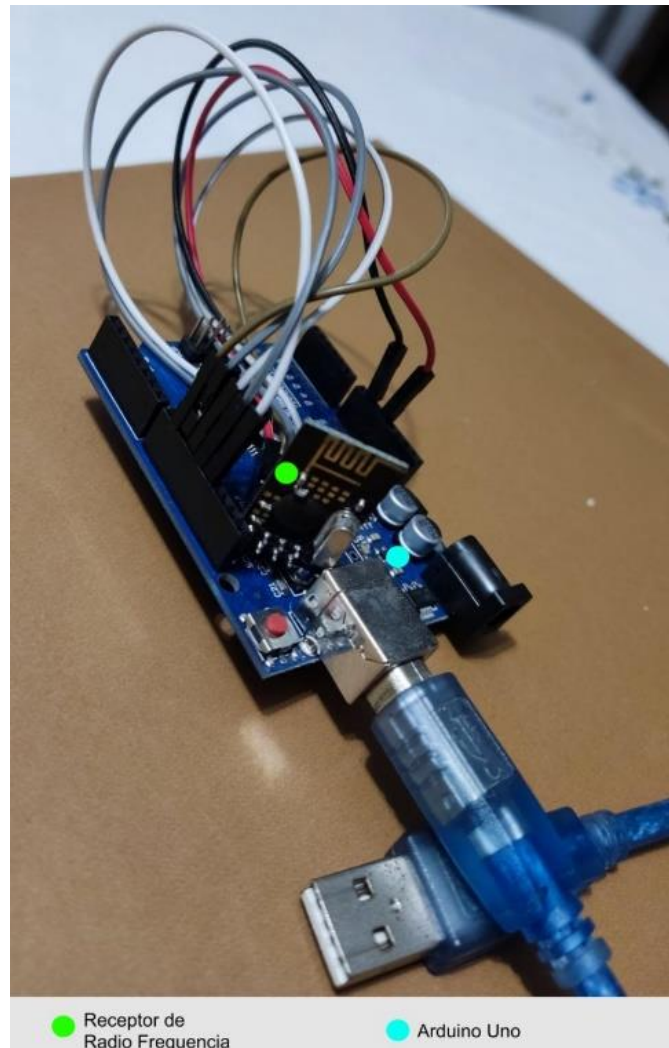


Figura 4. Módulo Robótico

Módulo de Armazenamento e Análise de Dados

Conforme apresentado na Figura 2 o ténis irá enviar, via radiofrequência, os dados sobre a movimentação do tornozelo para um segundo Arduino que está conectado a um desktop através de um cabo serial. As informações sobre a movimentação do tornozelo no plano sagital que irá apresentar como resultado a cinemática do tornozelo durante a execução dos movimentos de dorsiflexão e flexão plantar são transmitidos a cada 0,1 s para o desktop. Após a transmissão dos dados para o computador, o usuário pode analisar as informações recebidas através da Arduino IDE e salvar os dados em um arquivo .csv ou qualquer outro formato desejável. Com os dados devidamente tabulados em um arquivo .csv é possível traçar um gráfico dos ângulos do tornozelo em relação ao chão em função do tempo conforme apresentado na Figura 5.

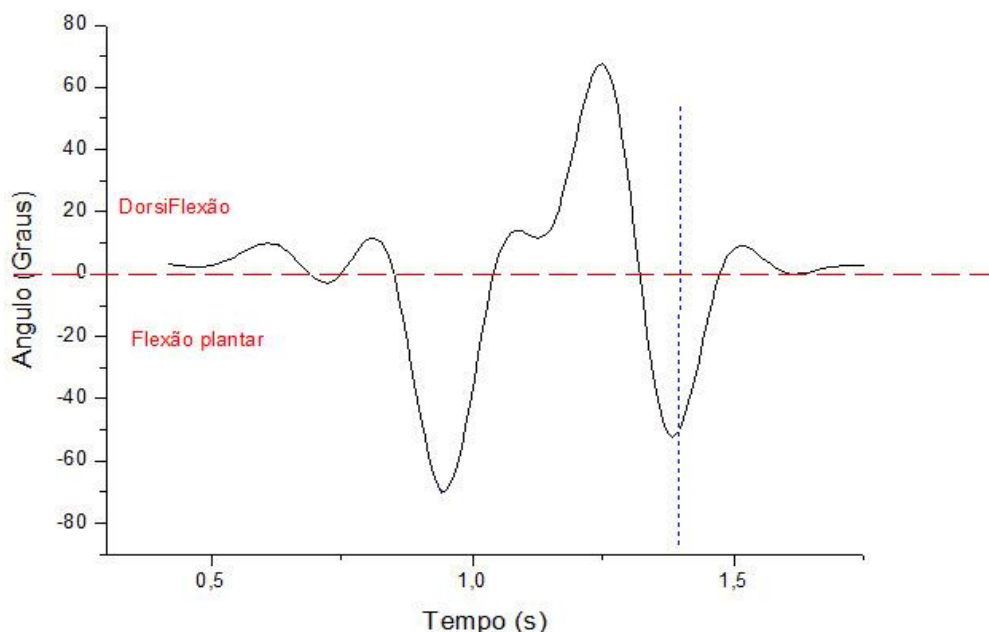


Figura 5. Gráfico gerado após aquisição dos dados do dispositivo vestível

O terapeuta pode analisar, através do Gráfico, a cinemática do tornozelo e identificar possíveis alterações como flexão plantar excessiva e/ou dorsiflexão excessiva favorecendo a avaliação dessas alterações.

3.2. AVALIAÇÃO DO SISTEMA ACFS POR ESPECIALISTAS

Devido ao período de Pandemia, as associações que atendem pessoas com deficiência (previstas para colaboração com este estudo), suspenderam o atendimento presencial dos seus pacientes/clientes. Dessa forma, as atividades de coleta de dados com os pacientes (crianças com pé torto congênito), para estudo de usabilidade e aplicabilidade do sistema, tiveram de ser prorrogadas para início de 2022.

Em contrapartida, foi proposta uma coleta de dados na forma virtual, com profissionais da área de aplicação que forneceu subsídios para melhorar aspectos mais gerais do sistema e/ou adicionar novas funcionalidades. Os especialistas foram recrutados por conveniência através de contato via e-mail que, após aceitarem participação, receberam um link para participação na pesquisa. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética (CAAE: 87369418.3.0000.0084).

Foi criado um questionário Google Forms com algumas questões de investigação acerca da aplicabilidade do sistema. O questionário continha vídeos demonstrando o funcionamento do sistema e perguntas acerca dos dados demográficos e área de atuação dos especialistas; experiências com tecnologias vestíveis; se usam/aplicam tecnologias com pacientes; como

esses especialistas imaginam que o sistema poderia ser usado com seus pacientes; vantagens e desvantagens do sistema.

O objetivo desta investigação preliminar foi mostrar o potencial da tecnologia para reabilitação e aferição de parâmetros do pé, visto que o sistema foi projetado com apoio de um especialista nessa área durante sua fase de desenvolvimento e obter informações e novas descobertas acerca da tecnologia com outros profissionais que atendem pessoas com deficiência e/ou com necessidades especiais. Essa interação com esses especialistas é importante pois contribui para descobrir problemas e novos recursos que porventura poderão vir a ser incorporados no sistema.

Os dados dessa pesquisa são relatados na próxima seção.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Participaram da etapa de avaliação preliminar do sistema 8 pessoas, todas do sexo feminino, que atuam como pesquisadoras, professoras ou estudantes de fisioterapia. Todos as participantes disseram ter quatro anos ou mais de experiências com atendimentos ambulatoriais no setor de fisioterapia motora conforme mostra o gráfico 1.

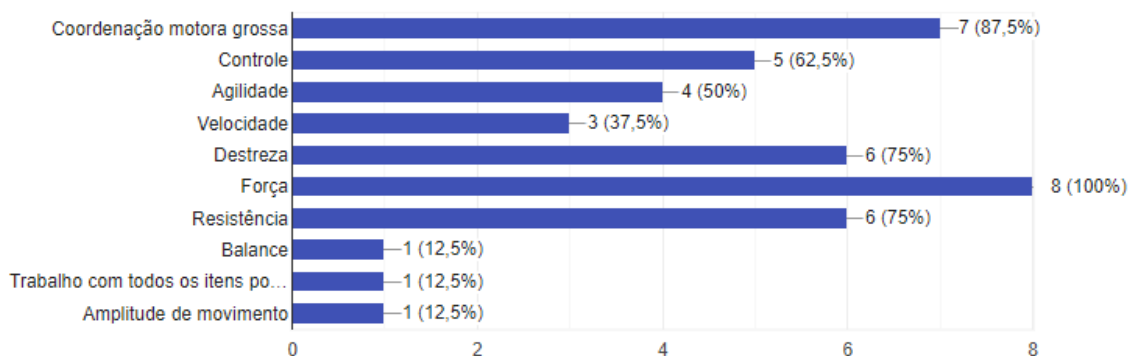


Gráfico 1. Experiência dos participantes com atividades de reabilitação motora.

Seis participantes afirmaram já ter usado videogames como Nintendo Wii, Kinect Xbox 360 e PlayStation baseado em câmeras para apoiar o processo de reabilitação motora. Um dos participantes disse já ter usado dispositivos vestíveis como os relógios (smartwatch suportados por dispositivos móveis) para monitorar atividades físicas e medir a aceleração dos movimentos.

Com relação aos desafios impostos pela utilização das tecnologias vestíveis na saúde, os participantes disseram que ainda há barreiras como, por exemplo, o custo elevado para aquisição dessas tecnologias pelos pacientes. Outro problema é a conexão com a Internet

que muitas vezes não viabiliza seu uso de forma mais eficiente. Além disso, a maioria dos pacientes, e até mesmo dos profissionais de saúde ainda não possuem habilidades suficientes para introduzir as tecnologias no seu cotidiano de trabalho.

Após análise dos vídeos, os participantes apontaram os benefícios que o sistema aqui proposto pode vir a proporcionar. Com relação à aplicabilidade, o sistema pode auxiliar crianças e adolescentes com PTC; pacientes com lesões no tornozelo; crianças com síndrome de Down, pacientes com Paralisia Cerebral, idosos com Acidente Vascular Cerebral; pessoas com doenças progressivas como esclerose múltipla, basicamente pacientes que tenham mobilidade reduzida.

Com relação aos pontos positivos, os participantes destacaram: possibilidade de ofertar uma terapia mais engajadora e dinâmica; possibilidade de mensurar o desempenho dos membros inferiores; possibilidade de oferecer aos pacientes um feedback em tempo real dos seus movimentos; facilidade de uso e aprendizagem do sistema.

Com relação aos desafios e desvantagens, os participantes mencionaram o fato de que necessita de um ambiente adequado para uso, principalmente quando envolver o uso do módulo robótico; é necessário ter um espaço amplo para a movimentação do robô e que o piso seja plano e sem atritos (sem obstáculos como tapetes etc.); talvez não seja tão intuitivo usar com as crianças mais novas; ampliação das funções do robô para evitar desinteresse; os fios que conectam os sensores na placa Arduino podem atrapalhar. Vale ressaltar que neste protótipo os fios estão visíveis para ajustes da interface do sistema, mas que futuramente todo o módulo de sensores ficará embutido dentro de um case. Logo, os fios não mais ficarão visíveis.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou desenvolver um protótipo robótico, com foco principal em ajudar pacientes a realizarem fisioterapia com os movimentos de dorsiflexão flexão, plantar, eversão e inversão, trazendo para eles uma avaliação bem mais precisa com a coleta de parâmetros da marcha (ângulo dos pés em relação ao solo) e demonstração por meio de gráficos. Deste modo, os pacientes podem ter uma melhor reabilitação, e a partir do uso do protótipo criado podemos recolher dados em tempo real, tendo um histórico do desenvolvimento do paciente.

Pesquisas realizadas, com profissionais da área de fisioterapia, mostraram como esta tecnologia pode ser fundamental para a reabilitação de pacientes, assim mostrando que o projeto tem uma grande eficácia. Como trabalhos futuros pretende-se melhorar o protótipo desenvolvido, colocando os sensores dentro de um case, para ser utilizado em vários

tamanhos de calçados, além de implementar no módulo robótico algumas outras funções como luzes e alto-falantes, para melhorar o entretenimento e a diversão do paciente enquanto realiza a fisioterapia.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, Corália Patrícia de Freitas Martins. Modelação biomecânica do corpo humano: aplicação na análise da marcha. 2011. Tese de Doutorado.

BIJALWAN, Vishwanath; SEMWAL, Vijay Bhaskar; MANDAL, T. K. Fusion of Multi-sensor based Biomechanical Gait Analysis using Vision and Wearable Sensor. *IEEE Sensors Journal*, 2021.

BROGNARA, L. et al. Assessing Gait in Parkinson's Disease Using Wearable Motion Sensors: A Systematic Review. *Diseases*, v. 7, n. 1, p. 18, 2019

JALLOUL, Nahed. Wearable sensors for the monitoring of movement disorders. *Biomedical journal*, v. 41, n. 4, p. 249-253, 2018.

Jessica Rose e James G. Gamble. *Marcha humana*. 2.^a ed. São Paulo: Editorial Premier, 1998, p. 25

MARSICO, Maria De; MECCA, Alessio. A survey on gait recognition via wearable sensors. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, v. 52, n. 4, p. 1-39, 2019.

M. Caetano, "Funcionalidade biomecânica", Disponível em: https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/cal_cado/classificacao-do-calcado/funcionalidade-biomecanica/, Acesso em 04 de agosto de 2020.

NASCIMENTO, Lucas Medeiros Souza do et al. Desenvolvimento de um dispositivo para classificação de pisada utilizando sensores inerciais. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NIKNEJAD, Naghmeh et al. A comprehensive overview of smart wearables: The state of the art literature, recent advances, and future challenges. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 90, p. 103529, 2020.

PARK, Sungmee; CHUNG, Kyunghee; JAYARAMAN, Sundaresan. Wearables: Fundamentals, advancements, and a roadmap for the future. In: *Wearable sensors*. Academic Press, 2014. p. 1-23.

PERRY, J. *Análise de marcha: Marcha Normal*. São Paulo: Manole, 2005

PORCIUNCULA, Franchino et al. Wearable movement sensors for rehabilitation: a focused review of technological and clinical advances. *Pm&r*, v. 10, n. 9, p. S220-S232, 2018.

PANTOJA, N. de O.; MEJIA, D.P.M. Análise biomecânica da marcha humana, Goiânia, v.1, n.0, p.1-14, 2020. Disponível em https://portalbiocursos.com.br/ohs/data/docs/32/102_-AnYlise_BiomecYnica_da_Marcha_Humana.pdf. Acesso em :08/09/2021

REGA, Danilo Gameiro. Implementação e comparação de algoritmos de detecção de passos para pulseiras inteligentes. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia de Redes de comunicação)-Universidade de Brasília, Brasília, 2018

REFAI, Mohamed Irfan Mohamed et al. Gait and dynamic balance sensing using wearable foot sensors. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, v. 27, n. 2, p. 218-227, 2018.

SHANAHAN, Camille J. et al. Technologies for advanced gait and balance assessments in people with multiple sclerosis. *Frontiers in neurology*, v. 8, p. 708, 2018.

SINNAPOLU, GiriBabu; ALAWNEH, Shadi. Integrating wearables with cloud-based communication for health monitoring and emergency assistance. *Internet of Things*, v. 1, p. 40-54, 2018.

Tao, W.; Liu, T.; Zheng, R.; Feng, H. Gait Analysis Using Wearable Sensors. *Sensors* 2012, 12, 2255-2283.

YANG, Jiehua et al. Smart wearable monitoring system based on multi-type sensors for motion recognition. *Smart Materials and Structures*, v. 30, n. 3, p. 035017, 2021.

Contatos: leo.willers.alves@gmail.com; ana.correa@mackenzie.br;
bruno.rodrigues@mackenzie.br