

SISTEMA COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE APOIO AO TRATAMENTO DE INDIVÍDUOS AMPUTADOS

Maurício de Souza Realan Arrieira¹; Julio Saraçol Domingues Jr²; Érico Marcelo Hoff do Amaral³

Resumo: Este trabalho apresenta a proposta de uma solução computacional que disponibiliza aos profissionais de fisioterapia uma ferramenta para o acompanhamento automatizado do progresso no tratamento de reabilitação física de pacientes com algum tipo de amputação de membro inferior. O objetivo central é construir um sistema baseada na integração de sensores, da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware Arduino e de um software e, desta forma, viabilizar o monitoramento de sessões de exercícios físicos realizados pelos pacientes em uma bicicleta ergométrica.

Palavras-chave: Indivíduos Amputados; Informática Médica; Monitoramento Automatizado.

COMPUTATIONAL SYSTEM AS A TOOL TO SUPPORT THE TREATMENT OF AMPUTED INDIVIDUALS

Abstract: *This work presents the proposal of a computational solution that provides physical therapy professionals with a tool for the automated monitoring of progress in the physical rehabilitation treatment of patients with some type of lower limb amputation. The central goal is to build a system based on the integration of sensors, the electronic prototyping platform of Arduino hardware and software and, thus, enable the monitoring of sessions of physical exercises performed by the patients on an exercise bicycle.*

Keywords: *Amputees; Medical Informatics; Automated Monitoring.*

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual, em todo o mundo existem milhões de pessoas que vivem com algum tipo de deficiência motora, causadas por acidentes ou qualquer tipo de lesão ou enfermidade. Infelizmente, a readaptação destes pacientes é, geralmente, um processo lento, desmotivador e muitas vezes avaliado com imprecisão (MATOS et al. 2014).

Considerando estas circunstâncias, uma das principais e mais desafiadoras áreas de tratamento é a readaptação de pessoas que passaram por amputações, mais especificamente amputações de membros inferiores. Dentro dessa realidade, alcançar uma avaliação mais precisa dos movimentos de um indivíduo pode resultar em ganhos no processo de reabilitação

¹Graduando Engenharia de Computação, Universidade Federal do Pampa, {mauriciorealan@gmail.com}

²MSc. Computação, Universidade Federal do Pampa, {juliodomingues@unipampa.edu.br}

³Dr. Informática na Educação, Universidade Federal do Pampa, {ericoamaral@unipampa.edu.br}

física e na avaliação do progresso de diferentes tipos de pacientes. Analisando este contexto, é possível apontar o notório crescimento tecnológico aplicado nos diversos ramos da ciência. Em particular, a área da saúde tem sido bastante beneficiada pelos avanços da computação.

De fato, a computação tem auxiliado os profissionais tanto no diagnóstico preciso e na intervenção adequada quanto em diversas outras situações (NOGUEIRA et al. 2014). Desta forma, se faz necessário o desenvolvimento de sistemas para a supervisão da reabilitação física que sejam eficazes, de baixo custo, de fácil uso e que possam ser adequados para ambientes ambulatoriais ou residenciais (HADJIDJ et al. 2013).

Sendo assim, avaliando a conjuntura apresentada, o presente trabalho se propõe a apresentar uma solução computacional aplicada no tratamento de reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores. Portanto, além deste capítulo introdutório, este documento apresenta os seguintes capítulos: o referencial teórico no capítulo dois; a metodologia adotada no capítulo três; no capítulo quatro o desenvolvimento do projeto; os resultados e discussões são apresentados no capítulo cinco; por fim, no capítulo seis serão apresentadas as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos relevantes acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, será apresentada uma fundamentação teórica sobre: o processo de reabilitação física, informática médica, a utilização da plataforma de prototipagem de hardware Arduino e sensores e trabalhos correlatos.

2.1 PROCEDIMENTO DE AMPUTAÇÃO

De acordo com o Ministério da Saúde (MS) amputação é o termo utilizado para definir a retirada total ou parcial de um membro, sendo este um método de tratamento para diversas doenças. Existe uma grande dificuldade na aferição de números precisos que indiquem uma relação de indivíduos amputados no planeta, isto devido, principalmente, ao pequeno número de informações sobre o tema em países menos desenvolvidos.

Entretanto, LeBlanc indica que em 2008 a população mundial era de aproximadamente 6,7 bilhões, onde estima-se que a incidência de amputações era de 1,5 por 1000 pessoas. Nesse cenário avalia-se um número de aproximadamente 10 milhões de amputados na

população mundial, sendo esta a última estimativa global de número de amputações (LEBLANC, 2008). Já no Brasil, o MS estima que as amputações do membro inferior correspondam a 85% de todas as amputações de membros, apesar de não haver informações totalmente precisas sobre este assunto no contexto nacional. Em 2011, cerca de 94% das amputações realizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS) foram em membros inferiores (MS, 2013).

2.2 PROCESSO DE REABILITAÇÃO FÍSICA

Tradicionalmente, uma grande parcela de terapia fisioterapêutica e avaliação de reabilitação de pacientes é baseada na observação e julgamento de um terapeuta. Os métodos de avaliação dependem fortemente da avaliação visual dos terapeutas de como o paciente está executando uma tarefa padrão (HONDORI; KHADEMI, 2014). Entretanto, a deficiência não pode ser isolada de problemas médicos pré-existentes e concorrentes. Assim, a avaliação da reabilitação exige uma perspectiva mais ampla (DELISA et al. 2005).

A perda de um membro inferior pode ser emocionalmente devastadora para os indivíduos, o que pode afetar a motivação do mesmo em todo o processo de reabilitação física. Ainda, a experiência de perder um membro pode diferir entre as pessoas (ANWAR; ALKHAYER, 2016). A fim de promover uma melhora na avaliação muscular dos pacientes protetizados, a utilização de procedimentos como a eletromiografia (EMG), que permite o estudo da função muscular por meio da captação do sinal elétrico que emana do músculo, tem apresentado sucesso para a avaliação da atividade muscular durante o processo de reabilitação física (OLIVEIRA et al. 2012).

Outra análise importante na reabilitação física de pacientes amputados é o acompanhamento da frequência cardíaca, pois permite detectar riscos que podem estar presentes devido a sua própria amputação, possibilitando desta forma, uma intervenção precoce quando necessário (ORNELAS, 2016). A análise da velocidade alcançada por um paciente amputado, durante um exercício de marcha ou em um cicloergômetro, também, é muito relevante. Isso devido ao fato de indivíduos que são portadores de restrições físicas, como os amputados, apresentarem um maior dispêndio energético quando comparados a indivíduos sem restrições físicas na mesma velocidade (BONA, 2011).

Assim sendo, o objetivo principal no processo da fisioterapia em amputados é ajudar os pacientes a adquirir novas habilidades e conhecimentos para retornar às suas atividades diárias, trabalho e lazer. Entretanto, o resultado de qualquer programa de reabilitação,

inclusive em pacientes amputados, é dependente da participação ativa do paciente, que por sua vez é muito influenciada pela atitude e motivação do indivíduo para a abordagem de reabilitação física a qual ele está sendo exposto (ANWAR; ALKHAYER, 2016).

2.3 INFORMÁTICA MÉDICA

Na saúde o uso de sistemas computacionais com o objetivo de apoio na tomada de decisões, tem sido cada vez mais frequente, conceituando assim, a informática médica. Assim sendo, torna-se imprescindível a discussão e apresentação de propostas que visem a utilização de recursos computacionais neste ambiente da sociedade (CARDOSO, 2016).

O estudo da informática tem sido cada vez mais fundamental para as práticas da medicina e da prestação de cuidados de saúde. Entretanto, ao invés de novos medicamentos, máquinas de raios-x ou novos instrumentos cirúrgicos, as ferramentas computacionais são mais propensas a serem utilizadas como diretrizes clínicas, sistemas de apoio à tomada de decisão, registros eletrônicos ou sistemas de comunicação. Estas ferramentas, no entanto, são apenas um meio para um fim, que é a entrega de um melhor serviço de acompanhamento da saúde do paciente (COIERA, 2015).

Novas tecnologias, tais como aplicativos móveis, dispositivos para captura de movimentos e de imagens, novos sensores, tecnologia *wearable* (termo que significa tecnologias para vestir), realidade virtual, internet das coisas e sistemas especialistas, contribuíram para o desenvolvimento de diversos ramos na medicina. Além disso, o uso dessas tecnologias tendem a maximizar a participação dos indivíduos no processo de tratamento e recuperação, auxiliando assim no desenvolvimento de sistemas de saúde mais eficientes e dinâmicos (PATEL et al. 2012). Uma interessante possibilidade de aplicação neste contexto, é a utilização de uma plataforma de prototipagem de hardware, como o Arduino integrado com a utilização de sensores.

2.4 ARDUINO E SENSORES

O Arduino é uma plataforma de computação física de código aberto baseada em uma placa de microcontrolador simples e um ambiente de desenvolvimento que implementa a linguagem de processamento (GALADIMA, 2014). Um dos principais pontos positivos da plataforma é a larga documentação sobre aplicações e de troca de experiências entre usuários, outro ponto positivo, é que atualmente, podemos encontrar diferentes versões da plataforma Arduino com custo relativamente baixo. Por outro lado, também é possível encontrar

instruções de montagem a partir dos componentes eletrônicos básicos, o que pode atender ao interesse de professores e alunos com maior capacitação em eletrônica (SOUZA et al. 2011).

Uma das grandes vantagens da utilização da plataforma Arduino é a possibilidade de integração com diversos tipos de sensores. Essa possibilidade permite a concepção e realização de projetos aplicáveis a diversas realidades. Em sistemas baseados em sensores, um indivíduo utiliza dispositivos sensores capazes de avaliar o movimento humano, sem interferir em seus comportamentos naturais. Um nó sensor é composto, geralmente, por vários sensores para a coleta de dados, um microcontrolador com memória para processamento de dados, um transmissor-receptor para transmissão de dados e, possivelmente, uma bateria para alimentar todos os circuitos do dispositivo (HADJIDJ et al. 2013).

No contexto da utilização de sensores, pode se destacar uma grande variedade de sensores que podem ser utilizados em conjunto com a plataforma Arduino. Desde sensores que mensuram a temperatura e pressão, até sensores que avaliam a frequência cardíaca de um indivíduo. A utilização de sensores se destaca também através de sua aplicação na área da saúde. Estes são utilizados por exemplo, para coletar dados fisiológicos e de movimento, permitindo assim, o monitoramento regular do estado clínico do paciente.

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

No intuito de demonstrar a viabilidade desta pesquisa, foram selecionados pesquisas que se correlacionam com a proposta do presente trabalho, em alguns aspectos, visto que não foram encontrados trabalhos que assemelhem consideravelmente com a proposta apresentada neste projeto. Assim, foram encontrados três trabalhos, porém, é preciso apontar que os objetivos destes projetos se diferem em relação aos propostos por este trabalho.

Lee et al. (2015), propôs um sistema de monitoramento 3D sem fio, o W3DM, para pacientes em reabilitação física. Um paciente em reabilitação física pode utilizar ou anexar um ou mais módulos W3DM em uma parte específica de seu corpo enquanto ele realiza um exercício físico. Os dados 3D recebidos em um banco de dados, para a análise posterior por um médico ou fisioterapeuta. Dessa forma, para que seja possível efetuar a avaliação sobre o progresso do paciente, os dados podem ser enviados para exibição em um telefone ou computador para monitoramento remoto (LEE et al. 2015).

Já Nunes (2014) propõe em seu trabalho um exergame (jogos eletrônicos que captam e virtualizam os movimentos reais dos usuários) de caminhada ou corrida em esteira ergométrica. O jogo captura a velocidade e o ritmo cardíaco do paciente, a exibição é efetuada

em um monitor instalado à frente da esteira. O sistema utiliza a placa de prototipação Arduino, a qual se comunica com sensores. A comunicação do Arduino utiliza a conexão USB para receber e transmitir os dados a um desktop. A captura da velocidade é realizada por meio de um sensor de efeito Hall, que registra a passagem de um ímã fixado na cinta da esteira ergométrica. Sabendo-se o tamanho da cinta e o intervalo de tempo é calculada a velocidade. Já a captura da frequência cardíaca, foi implementada através de um circuito comercial denominado Polar Heart Rate Monitor, que funciona em conjunto com o Arduino (NUNES, 2014).

Por outro lado, o trabalho de Anderson-Hanley et al. (2012) buscou investigar o impacto da adoção de tecnologias em um grupo de idosos, na prevenção de doenças relacionadas à demência. Os autores propõem um exergame, denominado Cybercycle, o qual consiste em um simulador de ciclismo, concebido para ser utilizado com uma bicicleta ergométrica. O sistema realiza o monitoramento do ritmo cardíaco do usuário, velocidade e distância percorrida (ANDERSON-HANLEY et al. 2012).

Partindo de uma análise comparativa, pode se avaliar que os três trabalhos diferem da proposta do presente trabalho, o qual apresenta uma solução aplicada na reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores. Por outro lado, é possível se observar que os trabalhos de Lee (2015) e Anderson-Hanley et al. (2012), assim como a solução proposta neste trabalho, possuem como princípio o acompanhamento profissional, seja de médicos ou fisioterapeutas, enquanto que a ferramenta de Nunes (2014) não apresenta este fundamento.

Outra similaridade identificada com os trabalhos de Lee et al. (2015) e Nunes (2014), é a proposta de armazenar os dados coletados em um banco de dados, para possíveis consultas futuras. Porém, a aplicação de Anderson-Hanley et al. (2012) não possui esta preocupação. Por fim, é possível analisar ainda que os trabalhos de Nunes (2014) e de Anderson-Hanley et al. (2012) apresentam aos usuários da ferramenta em tempo real os dados de distância percorrida, velocidade e frequência cardíaca que estão sendo coletados, assim, essa função também será atribuída a solução proposta nesse trabalho.

3 METODOLOGIA

Avaliando a necessidade de determinar uma sequência de atividades bem definida e coesa, para realização do trabalho, foi estabelecida, então, uma metodologia de pesquisa. Desta forma, com o objetivo de desenvolver este projeto definiu-se um conjunto de etapas para realização deste trabalho, que pode ser descrita como um fluxo de atividades construídas

a partir de um conjunto de abordagens técnicas e processos científicos. Esta sequência de etapas pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Metodologia Adotada no Desenvolvimento da Solução.



A etapa inicial consistiu na definição do problema de pesquisa. Esta definição partiu de uma análise acerca da necessidade de soluções computacionais que auxiliem e otimizem o processo de reabilitação física em pacientes amputados. A segunda etapa aborda o levantamento de um referencial teórico, ou seja, a realização de uma pesquisa bibliográfica por estudos que possam ser relacionados aos elementos que envolvem a construção da pesquisa proposta. Em um terceiro momento, o levantamento dos requisitos foi efetuado, onde estes requisitos serão apontados pelos usuários da solução, através da realização de reuniões e entrevistas com os mesmos.

Na quarta etapa foi desenvolvido um modelo projeto, isto é, uma abordagem de documentação de sistema com base em padrões e modelos de engenharia de software que abrangerá como, quando e porque cada uma das atividades que constituem a fase de construção da solução serão realizadas. Já a quinta etapa da metodologia será a construção da solução, ou seja, a implementação do sistema será efetuada a partir do projeto definido na quarta etapa. E desta forma, a solução consistirá em um sistema construído sobre a integração de hardware e software.

Durante a sexta etapa serão realizados os testes, com base em padrões específicos para testes de software e hardware. A realização destes experimentos servirá como ferramenta para validação da solução. Os testes serão efetuados em um ambiente controlado e com o acompanhamento de profissionais. Logo após, os resultados obtidos na fase de testes serão analisados e avaliados na oitava etapa, com a intenção de avaliar o funcionamento do sistema desenvolvido.

4 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção serão apresentados os conceitos que envolvem a idealização, construção e o desenvolvimento do projeto. Desta forma, serão retratados a descrição conceitual do projeto e o desenvolvimento do sistema proposto explicitando as partes de hardware e software individualmente.

4.1 O PROJETO

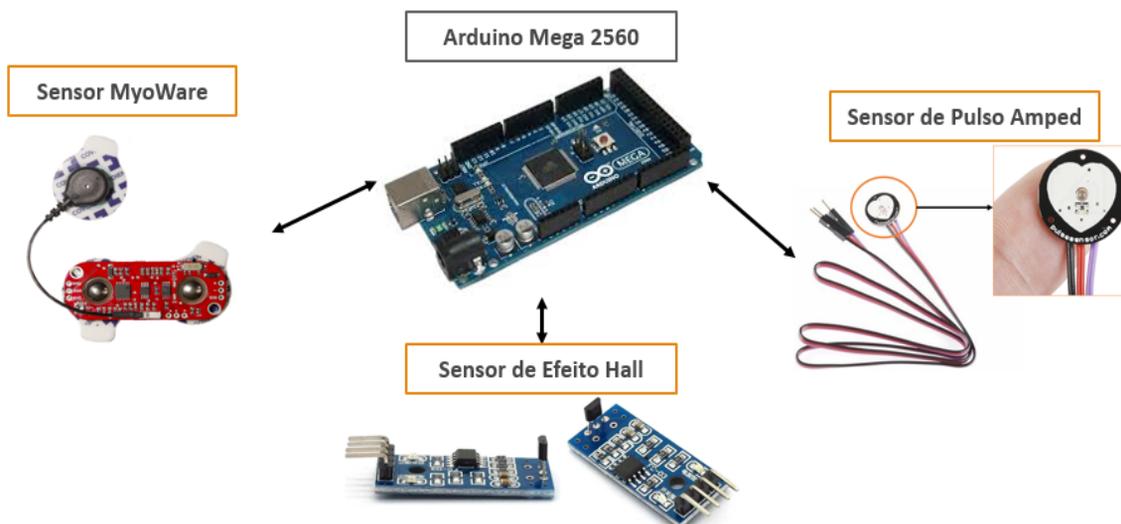
Para a realização do projeto foi firmada uma parceria com o Serviço de Reabilitação Física (SRF) da cidade de Bagé-RS. Essa parceria acrescenta ao projeto o conhecimento de profissionais da área de fisioterapia e, também, a demanda de pacientes necessária para a validação do projeto, bem como as instalações adequadas para a realização de testes. Além da parceria com o SRF, o projeto ainda conta com o apoio da Unimed Região da Campanha.

Avaliando mais especificamente alguns dos conceitos apresentados na subseção 2.2, definiu-se que o projeto deverá concentrar-se na análise da distância percorrida, força muscular, frequência cardíaca e velocidade. Assim, esses são os dados que serão coletados e monitorados pela solução proposta. A proposta é a construção de uma solução que colete dados de uma sessão de exercícios físicos, em uma bicicleta ergométrica, de pacientes amputados de membro inferior, e que disponibilize aos profissionais de fisioterapia um recurso para o monitoramento e avaliação do desempenho e evolução do tratamento de pacientes, por meio da análise dos dados.

4.2 HARDWARE

Para a construção da solução foram escolhidos como os equipamentos de hardware uma plataforma de prototipagem de hardware Arduino Mega 2560, um sensor de efeito hall 3144e, um sensor de pulso Amped e um sensor de EMG MyoWare Muscle Sensor. Assim sendo, estes componentes podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Componentes de Hardware Utilizados no Sistema



A placa Arduino Mega 2560 foi adotada pois oferece uma maior quantidade de pinos de entrada e saída, assim como uma maior capacidade de armazenamento. No que diz respeito aos sensores utilizados na construção da solução, o sensor de efeito hall 3144e é capaz de determinar campos magnéticos, podendo assim, ser utilizado para a obtenção de informações como distância percorrida e velocidade, sendo na solução proposta utilizado para detectar o campo magnético gerado por um ímã posicionado na estrutura de rotação da bicicleta ergométrica.

O sensor de pulso Amped funciona respondendo a alterações relativas na intensidade da luz. Assim, a partir da intensificação da luminosidade o sinal aumenta e, com menos incidência de luz o valor do sinal diminui, e assim é alcançado a frequência cardíaca. O sensor MyoWare atua medindo o sinal filtrado e retificado de um músculo, fornecendo uma tensão que depende da atividade no músculo selecionado, isto através de alguns eletrodos.

Desta forma, a partir da escolha dos equipamentos, foi elaborada uma lógica de funcionamento para o sistema computacional. O ponto de partida para a coleta de dados foi a leitura do sensor de efeito hall, assim, como o mesmo funciona de maneira booleana sendo acionado apenas quando ocorre a detecção do campo magnético, toda vez que o sensor for acionado, ocorrerão chamadas para a leitura dos sensores de frequência cardíaca e de EMG.

A partir da leitura dos sensores, são calculadas as informações referentes a distância percorrida, velocidade, frequência cardíaca e força muscular. Posteriormente, com todos as informações coletadas, estas são escritas na porta serial da máquina conectada ao Arduino. Todas estas ações são realizadas a partir de um módulo central, ou seja, um código escrito em linguagem de programação C.

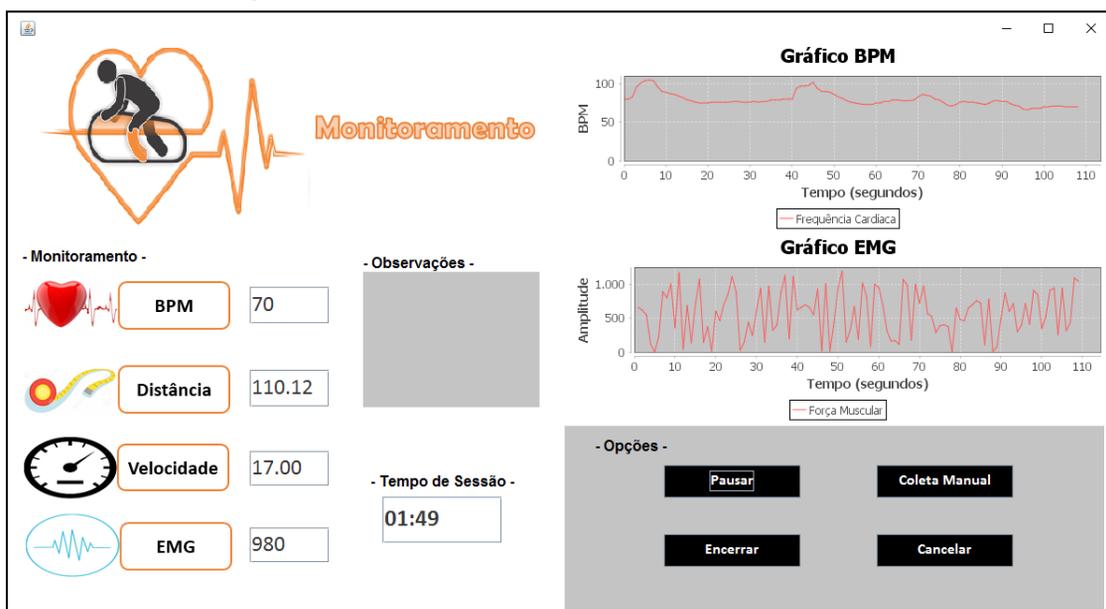
4.3 SOFTWARE

Como citado anteriormente, na solução é utilizada a comunicação serial entre hardware e software. Desta forma, o software implementa um método que é responsável por ler todos os dados enviados pelo sistema computacional e, assim, cada informação é destinada ao local onde serão utilizadas durante a execução da ferramenta.

O software foi desenvolvido em linguagem de programação Java, e com o objetivo de monitorar uma sessão de exercícios na bicicleta ergométrica, apresentando os dados coletados durante o exercício em tempo real para o fisioterapeuta responsável e, também, armazenar os dados coletados para análises futuras. Além destas funcionalidades, o software ainda permite o cadastro de pacientes e profissionais, bem como, a geração de relatórios.

Sendo assim, na Figura 3 pode ser observada uma captura de tela do software, correspondente à interface gráfica que apresenta ao fisioterapeuta o monitoramento automatizado da sessão de exercícios do paciente. Além das informações de frequência cardíaca, força muscular, distância percorrida e velocidade, ainda são apresentados o tempo de sessão decorrido e gráficos dos batimentos cardíacos e de EMG.

Figura 3: Tela de Monitoramento de uma Sessão de Exercícios



A aplicação ainda disponibiliza ao fisioterapeuta uma interface gráfica onde são apresentados gráficos elaborados a partir de parciais calculadas durante a sessão de exercícios do paciente. Além disto, ainda são apresentados indicadores, ou seja, relações entre as informações coletadas durante o exercício, e que possibilita ao fisioterapeuta uma gama de novas perspectivas de avaliação.

5 TESTES E RESULTADOS

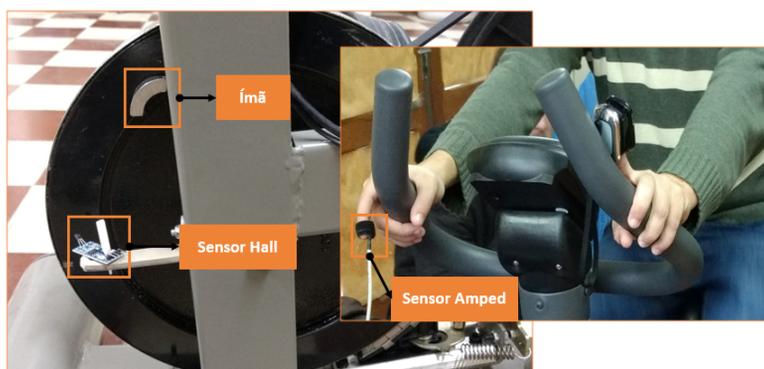
Esta seção apresenta a elaboração e execução de testes sobre o sistema desenvolvido. Assim, serão apresentadas as informações referentes a concepção dos testes e, também, considerações sobre os resultados obtidos.

5.1 CONCEPÇÃO DOS TESTES

Os testes foram elaborados com o objetivo de avaliar a precisão do sistema desenvolvido. Assim, para analisar a exatidão da coleta das informações de frequência cardíaca, distância percorrida e velocidade foram utilizados um oxímetro (aparelho digital, altamente preciso, utilizado para medição de frequência cardíaca) e o sistema da bicicleta ergométrica como métricas base. Desta forma, o intuito é avaliar a porcentagem de precisão dos dados coletados com o sistema implementado em relação aos dados mensurados com os instrumentos de base.

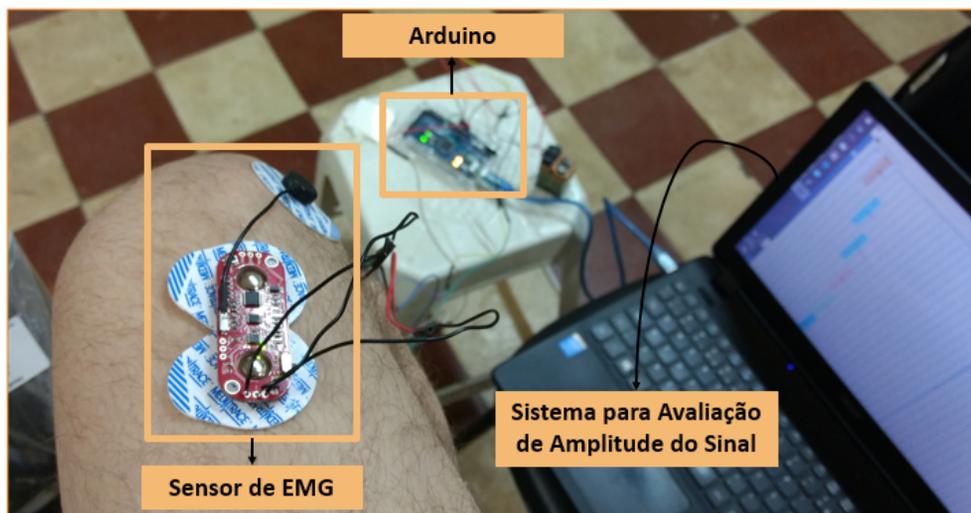
Desta forma, a Figura 4 apresenta o posicionamento adotado na instalação do sensor Hall, monitorando o campo magnético gerado pelo ímã e, também, o sensor de batimentos cardíacos Amped fixado no dedo indicador direito do indivíduo, o qual realiza o exercício. Também podem ser observados o oxímetro posicionado no dedo indicador esquerdo do indivíduo e, também, o display da bicicleta ergométrica.

Figura 4: Posicionamento dos Sensores Hall e Amped



Com relação ao sensor de EMG foram realizados testes com o objetivo de encontrar uma variação de amplitude do sinal dentro da faixa de representação esperada para este tipo de procedimento. Assim, foi buscado na literatura e na descrição do fabricante do sensor a amplitude do sinal esperado para este tipo de exercício em uma bicicleta ergométrica. Neste sentido, a Figura 5 apresenta o posicionamento do sensor MyoWare durante a realização do teste de avaliação da amplitude do sinal obtido.

Figura 5: Posicionamento do Sensor MyoWare no Teste de Amplitude do Sinal



Os testes foram realizados nas instalações do SRF, e contaram com o acompanhamento de fisioterapeutas durante a realização das sessões de exercícios. Foram realizadas dez sessões de exercícios na bicicleta, com cinco diferentes indivíduos e com cada sessão tendo a duração de cinco minutos.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar a precisão da coleta dos dados realizada pelo sistema em relação as métricas base, foram calculadas médias aritméticas entre as sessões de exercícios, onde realizou-se o cálculo de médias a cada cinco ou dez segundos e, posteriormente, foram calculadas médias destas parciais a cada minuto das sessões de exercício. Assim, de maneira prática, se o valor obtido com o oxímetro em um determinado instante foi de 98 batimentos por minuto (BPM) e o obtido pelo sensor Amped foi de 90 BPM, a precisão da coleta do sensor é dada por 90 multiplicado por 100% e esse resultado dividido por 98, resultando assim em um percentual de precisão do Sensor Amped em relação ao oxímetro.

Assim sendo, o mesmo procedimento foi utilizado na avaliação da precisão da distância percorrida e da velocidade, tendo como base os valores apresentados pelo sistema da bicicleta

ergométrica. Portanto, a Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no cálculo de precisão de cada uma das informações avaliadas.

Tabela 1: Índice de Precisão do Sistema

Informações Coletadas	Índice de Precisão
Frequência Cardíaca	82,96%
Distância Percorrida	96,65%
Velocidade	96,45%

A exatidão obtida pelo sistema, através dos sensores, se mostrou bastante satisfatória, uma vez que foi alcançada uma precisão acima de 80%. Na análise da frequência cardíaca, o índice de precisão menor, em relação as outras duas informações, pode ser explicado pela própria documentação do sensor, onde é apontado que o mesmo, precisa de um tempo mínimo para estabilizar a leitura do sinal de luminosidade. Na análise da distância, é preciso levar em consideração que o sistema da bicicleta ergométrica não apresenta uma análise dos centímetros, ou seja, décimos. Assim, este é um fator que afeta a análise de precisão da distância percorrida, uma vez que o sistema desenvolvido apresenta a distância com duas casas decimais.

Já na análise do sinal de amplitude avaliado com o sensor de EMG, foi possível constatar que a coleta dos dados está precisa, e dentro da faixa de representação esperada para o sinal, entre 0 e 1200. Também foi possível realizar uma avaliação mensurando o sinal em volts, uma outra prática realizada com este tipo de sinal eletromiográfico, onde durante a movimentação em um exercício na bicicleta ergométrica a variação deve estar entre 4 e 5 volts para a aplicação de força e abaixo desta faixa quando não há aplicação de força. Desta forma, a Figura 6 demonstra a execução dos testes nas instalações do SRF.

Figura 6: Execução dos Testes



Outro ponto importante de análise, é de que pode ser possível demonstrar a viabilidade da realização de uma análise comparativa entre os dados de um determinado indivíduo ao longo de diferentes sessões de exercícios, o que se torna relevante na avaliação do progresso de um paciente em reabilitação física.

6 CONCLUSÕES

É relevante apontar a validação da precisão da solução implementada, o qual viabilizou análises acerca do desempenho de um indivíduo ao longo de diferentes sessões de exercícios físicos. Essa análise é fundamental na avaliação do progresso de um paciente amputado durante o processo de reabilitação física, e assim, será efetivamente um dos pontos de maior relevância na utilização do sistema, pelos profissionais.

Outra consideração importante é a de que através das pesquisas realizadas e do levantamento do referencial teórico foi possível alcançar uma maior familiaridade com os aspectos referentes aos conceitos envolvidos na reabilitação física de indivíduos amputados. Assim, avaliar o carácter social da proposta e a relevância do tema não apenas na área do desenvolvimento de pesquisa acadêmica, visto que a sistema proposto tem como objetivo propiciar um melhor tratamento e acompanhamento de pacientes.

Por fim, após a avaliação da precisão da solução proposta, o sistema está apto a receber testes com indivíduos amputados. Sendo assim, como próximos passos, se destaca que a equipe de profissionais do SRF realizará a seleção de pacientes com aptidão para realizar exercícios na bicicleta ergométrica e, desta forma, identificar como os pacientes reagem a utilização da solução e como isto acarreta em uma melhora no progresso de seu tratamento.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON-HANLEY, C. et al. Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. *American journal of preventive medicine*, Elsevier, v. 42, n. 2, p. 109–119, 2012.
- ANWAR, F.; ALKHAYER, A. Perceptions of prosthetic limb among lower limb amputees. *International Journal of Therapies and Rehabilitation Research*, v.5, n.4, p. 175–179, 2016.
- BONA, R. L. Efeitos da velocidade nos parâmetros mecânicos e energéticos da locomoção de amputados transfemurais. 2011.
- CALLEJAS-CUERVO, M.; ALVAREZ, J.; ALVAREZ, D. Capture and analysis of biomechanical signals with inertial and magnetic sensors as support in physical rehabilitation processes. In: *IEEE. Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2016 IEEE 13th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 119–123.

- CARDOSO, J. P. O uso de sistemas especialistas para apoio à sistematização em exames ortopédicos do quadril, joelho e tornozelo. *Saúde.com*, v. 1, n. 1, 2016.
- COIERA, E. *Guidetohealthinformatics*. [S.l.]: CRC press, 2015.
- DE, L. *JATratadodeMedicinadeReabilitação: Princípios e Práticas*. [S.l.]: Editora Manole, São Paulo, 2002.
- GALADIMA, A. A. Arduino as a learning tool. In: IEEE. *Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2014 11th International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 1–4.
- HADJIDJ, A. et al. Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 1–15, 2013.
- HONDORI, H. M.; KHADEMI, M. A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. *Journal of Medical Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, v. 2014, 2014.
- LEBLANC, M. Give hope—give a hand. *The LN-4 Prosthetic Hand*, v. 2014, 2008.
- LEE, H.-C. G. et al. A novel wireless 3d monitoring system for physical rehabilitation. In: IEEE. *RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), 2015 IEEE MTT-S 2015 International Microwave Workshop Series on*. [S.l.], 2015. p. 49–50.
- MATOS, N.; SANTOS, A.; VASCONCELOS, A. Kinteract: a multi-sensor physical rehabilitation solution based on interactive games. In: ICST (INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING). *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. [S.l.], 2014. p. 350–353.
- MS. Diretrizes de Atenção a Pessoa Amputada. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizesatencaopessoaamputada.pdf>.
- NOGUEIRA, K. L. et al. Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação. Thesis (PhD) — Universidade Federal de Uberlândia, 2014.
- NUNES, M. B. Running Wheel: proposta e análise de um exergame motivacional para corrida. Thesis (PhD) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2014.
- OLIVEIRA, D. C. S. d. et al. Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. *Rev. bras. med. Esporte*, v. 18, n. 4, p. 261–266, 2012.
- ORNELAS, D. C. Variabilidade da frequência cardíaca de amputados transfemorais ativos antes e após teste de esforço físico máximo. 2016.
- PATEL, S. et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, BioMed Central, v. 9, n. 1, p. 21, 2012.
- SOUZA, A. R. de et al. A placa arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo pc. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, 2011.