*APLICAÇÕES DE SISTEMAS EMBARCADOS NA ENGENHARIA BIOMÉDICA: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO*

*APPLICATIONS OF EMBEDDED SYSTEMS IN BIOMEDICAL ENGINEERING: A SYSTEMATIC MAPPING*

**FLÁVIA GONÇALVES FERNANDES, EDER MANOEL DE SANTANA**

**RESUMO**

Os sistemas embarcados revolucionam o mundo, melhorando continuamente a vida das pessoas. Basta olhar em volta e perceber que eles estão em quase todos os lugares e que suas aplicações impulsionaram o desenvolvimento tecnológico de todas as áreas do conhecimento humano. Além disso, a bioengenharia integra as áreas de física, química e/ou matemática e princípios de engenharia para o estudo de biologia, medicina, comportamento ou saúde. Esta área avança conceitos fundamentais, cria conhecimento do nível molecular ao dos órgãos. Desenvolve produtos biológicos inovadores, materiais, processos, implantes, dispositivos e abordagens computacionais para prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, a fim de melhorar a qualidade de vida da população. Nesta perspectiva, este artigo apresenta uma revisão sistemática de referências que visam a aplicação de sistemas embarcados na medicina e bioengenharia. As fontes de pesquisa foram os seguintes bancos de dados indexados: IEEE Xplore, Science Direct e Pub Med. Assim, o mapeamento sistemático na elaboração da revisão permitiu identificar as principais lacunas para o desenvolvimento de novas pesquisas, além de direcionar as principais publicações relacionadas ao estudo. Finalmente, os resultados mostram que é uma área em constante expansão, com grande potencial de desenvolvimento e aplicações.

**Palavras-chave:** Bioengenharia, Sistemas Embarcados, Medicina.

**ABSTRACT**

*Embedded systems revolutionize the world by continually improving people's lives. Just look around and realize that they are almost everywhere and that their applications have driven the technological development of all areas of human knowledge. In addition, bioengineering integrates the areas of physics, chemistry and / or mathematics and engineering principles for the study of biology, medicine, behavior, or health. This area advances fundamental concepts, creates knowledge of molecular level to that of organs. It develops innovative biological products, materials, processes, implants, devices and computer approaches for disease prevention, diagnosis and treatment to improve the quality of life of the population. From this perspective, this paper presents a systematic review of references aimed at the application of computer vision in wheelchair driving. The research sources were the following indexed databases: IEEE Xplore, Science Direct and PubMed. Thus, the systematic mapping in the elaboration of the review allowed identifying the main gaps for the development of new research, in addition to directing the main publications related to the study. Finally, the results show that it is a constantly expanding area with great potential for development and applications.*

**Keywords:** *Bioengineering, Embedded Systems, Medicine.*

**INTRODUÇÃO**

Na prática clínica moderna, uma grande variedade de informações provenientes do corpo humano pode ser lida rotineiramente. Através do uso de equipamentos de monitoração adequados, engenheiros e profissionais da saúde tem acesso a muitos fenômenos bioelétricos com relativa facilidade. Dentre esses fenômenos, destacam-se eletrocardiogramas (ECG), eletrooculogramas (EOG), eletroencefalogramas (EEG), eletromiogramas (EMG) entre outros biopotenciais (SÁNCHEZ, 2011).

Um sistema embarcado salva vidas em marcapassos, garante a segurança dos transportes em computadores aviônicos e freios ABS, também aproxima as pessoas através de satélites e equipamentos de telecom, agrega conforto ao dia a dia com impressoras, TVs e players de mídia, e, ainda deixa a nossa vida mais divertida com os consoles de games. Sistema embarcado também é aplicado em sistemas de rede elétrica, em sistemas bélicos, em reatores nucleares, enfim, eles estão presentes em quase todos os eletrônicos (WOLPAW, 2002).

Sistemas embarcados revolucionam o mundo continuamente melhorando a vida das pessoas. Basta olhar ao redor e perceber que eles estão em quase todos os lugares e que suas aplicações impulsionaram o desenvolvimento tecnológico de todas as áreas de conhecimento humano. Além disso, a bioengenharia integra as áreas de física, química e/ou matemática e princípios de engenharia para o estudo da biologia, medicina, comportamento, ou de saúde. Esta área avança conceitos fundamentais, cria conhecimento de nível molecular ao de órgãos. Desenvolve produtos biológicos inovadores, materiais, processos, implantes, dispositivos e abordagens de informática para a prevenção, diagnóstico e tratamento da doença, para a melhorar a qualidade de vida da população (WOLPAW, 2002).

Conceitualmente, um ambiente envolve um determinado espaço e uma situação delimitada, e inclui todos os componentes neles inseridos, como o conjunto de objetos e de condições passíveis de serem percebidos e com os quais é possível interagir. Nessa linha de raciocínio, um ambiente virtual é um ambiente interativo, gerado por um computador e disponibilizado através de um sistema de realidade virtual [Stuart 2006].

De acordo com (VINCE, 2005), são características que devem ser consideradas para o desenvolvimento de um ambiente virtual:

• Sintético: o ambiente deve ser gerado em tempo real, e não ser uma gravação como é o caso de sistemas de multimídia;

• Tridimensional: o ambiente que cerca o usuário é representado em três dimensões (3D), dando ao usuário a impressão de profundidade;

• Multissensorial: usa-se mais de um sentido para representar o ambiente, como a visão, audição, percepção espacial (de profundidade), reação do usuário com o ambiente, entre outros;

• Imersivo: refere-se à impressão de que se está dentro do ambiente produzido computacionalmente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacetes de visualização, mas outros sentidos, como o som e controles reativos, também podem colaborar com a imersão;

• Interativo: representa a capacidade de detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações realizadas sobre ele;

• Realista: envolve a precisão com que o ambiente virtual reproduz os objetos reais, as interações com os usuários e o próprio modelo do ambiente.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é verificar o panorama das pesquisas relacionadas sobre a aplicação de sistemas embarcados em medicina e bioengenharia, apresentando um estudo sistêmico acerca do que vem sendo publicado para tal vertente.E, com isso, verificar a ascensão desta linha de pesquisa na atualidade.

**REFERENCIAL TEÓRICO**

A Medicina, Engenharia Biomédica e áreas da saúde relacionadas têm, substancialmente se beneficiadas dos avanços tecnológicos nos últimos anos. Pesquisadores acreditam que sistemas embarcados providenciam um recurso ímpar para o ensino e treinamento em estruturas anatômicas. Um dos principais problemas para educação em Medicina, em geral, é providenciar um senso realístico da inter-relação entre estruturas anatômicas no espaço 3D. Com a Realidade Aumentada, o aprendiz pode repetidamente explorar as estruturas de interesse, separando-as ou agrupando-as com as mais diferentes formas de visualização, imersão e exploração. Isso seria, obviamente, impossível com um paciente vivo e é economicamente inviável manter cadáveres em escolas de Medicina (TORI, 2006).

Os sistemas embarcados, juntamente com a Realidade Virtual(RV) e a Realidade Aumentada(RA), podem oferecer recursos e respostas às necessidades computacionais relacionadas a simulações, treinamentos e terapias para as diversas especialidades da saúde (COSTA; RIBEIRO, 2019). Há diversos exemplos de aplicações de RV e RA em saúde na literatura.

Como exemplo de aplicação de RA na área da saúde temos um sistema que permite a visualização de objetos 3D reconstruídos a partir de imagens de CT ou RMN, visando à simulação de laparoscopia. Usando RA, o sistema disponibiliza informações adicionais ao usuário por meio de notas incluídas no AV. Por meio de dispositivos hápticos são simuladas as sensações de segurar as pinças durante o treinamento do procedimento (BURDEA; COIFFET, 2003).

Outra aplicação foi desenvolvida para ser um simulador cirúrgico para o treinamento da coleta de medula óssea para transplante em crianças. A partir deste sistema, uma série de metodologias voltadas à avaliação online do usuário tem sido implementadas com o objetivo de monitorar suas ações e classificar suas habilidades (MACHADO; MORAES, 2009).

Outra área de aplicação da RA em conjunto com as tecnologias móveis e reconhecimento de gestos é a automação de processos. A Automação é um quesito para desenvolvimento de mecanismos industriais. Seu uso é bem vasto, porém possui uma carência de controle. A automação através dos aplicativos de controle ainda é manual, em que os usuários precisam introduzir informações via teclado do computador ou por botões de on/off nos sistemas (DURLACH, N.I.; MAVOR, 2015).

O intuito da utilização de RA vem para retirar a necessidade de entrada de informações pelo usuário, apenas reconhecendo a real intenção pelos seus gestos ou movimentos. Após esta leitura de gestual, as informações são repassadas a linguagem e interpretadas para realizar automação de processos. De acordo com o resultado da interpretação, o comando é repassado para um Controlador Lógico Programável, também conhecido como CLP, para acionar um motor, esteira, braço robótico, entre outros (BRAZ, 2010).

Neste sentido, a interação natural através do reconhecimento de gestos e tecnologias móveis para RA associada à visualização de informações compõe uma ferramenta bastante útil e expressiva, pois auxilia no entendimento de informações e facilita a utilização das aplicações de maneira mais intuitiva e de fácil aprendizagem (DAMASCENO et al., 2019).

Um exemplo de aplicação existente que utiliza interação natural é a Fusion4D do projeto VIDA (MATSUMURA & SONNINO, 2011) é um trabalho que foi desenvolvido uma aplicação 3D na qual o usuário interage com os objetos virtuais como se estivessem realmente em suas mãos, podendo mover, girar, aumentar, explodir em detalhes e até mesmo ver como os objetos seriam no passado e no futuro.

Outro exemplo de aplicação de RA é o Project Glass da empresa Google, que é um projeto de óculos para Realidade Aumentada, possibilitando ao utilizador destes óculos a comunicação com os amigos, a visualização de mapas, o entretenimento e o recebimento de informações concomitantemente. Logo, observa- se que a Realidade Aumentada tem aparecido cada vez mais na mídia ultimamente, visto que é uma tecnologia que permite às pessoas interagirem com o mundo virtual a partir do mundo real. Desse modo, com objetos simples podem-se projetar elementos que praticamente pulam para fora da tela e permitem os mais diferentes modos de interação, fazendo com que esta interessante tecnologia seja cada vez mais atrativa e utilizada pelas pessoas (DRAB; ARTNER, 2015).

Conclui-se que a Realidade Aumentada móvel, possível graças aos sistemas embarcados, com reconhecimento de gestos é uma tecnologia capaz de contribuir para que as aplicações sejam práticas, interativas e rápidas, resultando na melhoria de diversas áreas, tais como educação, saúde, engenharia, industrial, comercial, marketing e entretenimento (DROPS, 2018).

**MATERIAIS E MÉTODOS**

A fim de efetuar-se a revisão da literatura estabelecida pelo trabalho, um mapeamento sistemático (*mapping study*) foi realizado de acordo com a metodologia proposta por (BAILEY, 2007) e (PETERSEN, 2008), consistindo em uma busca de estudos cadastrados em bases de dados por meio de operadores lógicos para a seleção dos artigos, a partir da seleção de palavras ou expressões chave.

As bases de dados consideradas para o presente trabalho foram: IEEE Xplore (IEEE, 2020), Science Direct (SCIENCE, 2020) e PubMed (PUBMED, 2020), sendo estas bases disponíveis na Universidade Federal de Uberlândia. Faz-se necessário ressaltar que foram analisados somente artigos de periódicos revisados por pares.

As expressões lógicas utilizadas para a busca nas bases foram: "*embedded system*" *AND* (*medicine OR prótese OR bioengenering*)". Foram escolhidas estas strings para buscar trabalhos que envolvam sistemas embarcados aplicados na área da medicina e da bioengenharia. Em seguida, foram aplicados filtros para reduzir o escopo da busca. Por exemplo, quanto ao idioma (inglês e português), tipo de publicação (artigo de periódico revisado por pares) e ano de publicação (de 2013 a 2020). Aplicados os filtros em cada base de dados, foi feita uma leitura dos títulos de forma a selecionar quais estavam de acordo com a expressão lógica selecionada. Observou-se também as possíveis repetições entre as bases de dados, e os artigos que se encaixavam nos critérios de inclusão tiveram quaisquer duplicatas removidas.

Por fim, a etapa final de seleção dos artigos consistiu no direcionamento para aplicações que envolviam sistemas embarcados aplicados nas áreas da medicina e bioengenharia. Para tanto, foi efetuada a partir da leitura e análise dos títulos e resumos, de modo a excluir aqueles trabalhos que não se relacionavam diretamente ao tema em estudo, sendo a revisão da bibliografia desenvolvida a partir deste resultado obtido. Neste sentido, trabalhos que abordavam temáticas diferentes foram descartados, como trabalhos que abordavam aprendizado de máquina voltados para aplicação em outras áreas, por exemplo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a realização das buscas nas bases de dados, os resultados obtidos foram organizados em forma de tabelas e gráficos com a finalidade de apresentá-los de maneira mais prática. A Tabela 1 apresenta os resultados totais obtidos no mapeamento, considerando-se as citadas palavras-chave e a data limite de 2020.

**Tabela 1 - Síntese dos resultados obtidos nas pesquisas.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Banco de dados** | **Número de artigos** | |
|  | Inicial | Com título aderente |
| PubMed | 14 | 11 |
| IEEE Xplore | 20 | 15 |
| Science Direct | 38 | 19 |
| Total | 72 | **50** |

Dessa forma, por meio do mapeamento sistemático foi criado um banco de dados com 50 (cinquenta) referências de bases de dados para a combinação de *strings "embedded system" AND (medicine OR prótese OR bioengenering)".*

A evolução da publicação anual dos trabalhos selecionados na busca internacional pode ser vista na Figura 1, onde é possível notar que os artigos envolvendo o assunto abordado neste trabalho foram publicados nos últimos anos. Dessa forma, observa-se que o assunto é recente e com grandes possibilidades de campos a serem explorados.

Os 50 (cinquenta) trabalhos selecionados constam nas referências do presente trabalho. Porém, não estão citados no corpo do texto devido à extensa quantidade.

**Figura 1 - Número de artigos por ano de publicação.**

A Figura 2 apresenta o número de artigos de periódicos publicados por países. Os trabalhos publicados são de diferentes países, tais como: Alemanha, Argentina, Austrália, China, Eslovênia, Estados Unidos, Índia, Itália, Lituânia, Malásia, México, Paquistão, Reino Unido e Suécia. Desse modo, verifica-se que a maioria dos trabalhos encontrados que englobam o uso de sistemas embarcados para a bioengenharia e medicina são oriundos de países desenvolvidos, inclusive não foi encontrado nenhum trabalho que aborda esse tema no Brasil.

**Figura 2 - Número de artigos por país de publicação.**

A Figura 3 mostra os periódicos que estão publicando trabalhos relacionados com o tema abordado: aplicações utilizando sistemas embarcados em bioengenharia e medicina. As publicações foram encontradas em: Sensorsand Actuators: A Physical; Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences; Journal of Theoreticaland Applied Information Technology; International Journal of Intelligent Engineering & Systems; International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing; IEEE Transactionson Neural Systems anda RehabilitationEngineering; IEEE TransactionsonBiomedicalCircuitsand Systems. IEEE Access; Elektronika ir Elektrotechinika; Computer Science andInformation Systems; ARPN JournalofEngineeringand Applied Sciences.

A Figura 4 exibe a quantidade de artigos selecionada de acordo com a tecnologia utilizada para aplicação de sistemas embarcados para bioengenharia e medicina, as quais foram variadas, dentre as quais citam-se: bengala inteligente, biomarcadores, cápsulas, controle veicular, dispositivos vestíveis, exoesqueleto, guincho inteligente, marcadores, próteses e sensores. A maioria dos trabalhos utilizou ferramenta customizada, ou seja, as tecnologias utilizadas foram adaptadas segundo à necessidade dos pacientes.

**Figura 3 - Número de artigos por tipo de reabilitação.**

**Figura 4 - Número de artigos por tecnologia.**

A Figura 5 mostra a quantidade de artigos encontrada de acordo com a finalidade da aplicação do trabalho, a saber: diagnóstico, imaginética motora, tratamento, reabilitação e treinamento. Nesse sentido, pode-se observar que a maioria dos trabalhos busca realizar diagnósticos, visto que é algo de suma importância para pacientes com diversas doenças e enfermidades, além de outras deficiências.

**Figura 5 - Número de artigos por aplicação.**

**Figura 6 - Número de artigos por finalidade.**

A Figura 6 apresenta a quantidade de artigos encontrada conforme o tipo de técnica adotada nos trabalhos selecionados encontrados sobre o uso de sistemas embarcados em bioengenharia e medicina, a saber: aceleração 3D, cinemetria, controle de balanço, DDS, ECG, ECG/EDA, ECG/EEG, EEG, EEG/BCI, EEG/EMG, EMG, EMG/VOG, ONoC. Dessa forma, percebe-se que o eletrocardiograma (EEG) e a eletromiografia (EMG) foram os equipamentos mais utilizados nos trabalhos selecionados a respeito da temática pesquisada neste mapeamento sistemático.

O ato de conduzir uma cadeira de rodas motorizada naturalmente, se torna extremamente difícil para pessoas com deficiência motora severa. A capacidade de conduzir tal dispositivo de forma independente requer habilidades motoras, visuais e cognitivas específicas, que em muitos casos foram significativamente afetadas ou mesmo perdidas, impossibilitando o indivíduo de ter uma vida independente.

Nesta perspectiva, a partir do mapeamento sistemático realizado, está sendo desenvolvida uma ferramenta para condução de cadeira de rodas motorizada por meio de rastreamento ocular a partir da imagem do usuário registrada por uma webcam de notebook.

Por meio dessa estratégia, é possível dispensar a conexão ao notebook de outros periféricos tradicionalmente usados para realização da tarefa, como é o caso dos dispositivos de rastreamento ocular (eyetracker) disponíveis no mercado. Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma busca de trabalhos relacionados no intuito de identificar as tecnologias existentes, bem como as principais necessidades e dificuldades de usuários portadores de necessidades especiais.

Em seguida, foi desenvolvido o sistema usando as bibliotecas Gaze Tracking e Dlib, que permitem identificar a região para a qual o olhar do usuário está dirigido. Por sua vez, foi associada aos comandos direcionais necessários para a condução da cadeira.

Por fim, o sistema foi testado por cinco usuários de cadeira de rodas e cinco voluntários hígidos no intuito de avaliá-lo, tanto em termos de usabilidade durante a condução, quanto em aplicabilidade para diversas patologias.

Os resultados mostraram a viabilidade da solução proposta para a aplicação desejada. Assim, espera-se que futuramente o sistema desenvolvido possa ser utilizado por indivíduos para condução de cadeiras de rodas motorizadas de forma efetiva e segura.

**CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

Por meio do mapeamento realizado, foi possível verificar que houve um crescimento no estudo da aplicação de sistemas embarcados na medicina e na bioengenharia, visto que é algo inovador e muito eficiente, procurando auxiliar na reabilitação, tratamento, treinamento ou prevenção de acidentes de pessoas com enfermidades diversas.

Assim, cabe destacar que a aplicação do mapeamento sistemático na elaboração de revisão bibliográfica permite identificar as principais lacunas para o desenvolvimento de novas pesquisas. Além disso, direciona para as principais publicações ligadas ao estudo.

Portanto, percebe-se a necessidade de fomentar esta área de pesquisa para oferecer a este público com limitação motora acesso às técnicas e ferramentas disponíveis por meio de sistemas embarcados como forma de tratamento, aquisição de conhecimento, motivação, entretenimento ou mesmo por inclusão. Dessa maneira, poderá se obter uma maior maturidade nos resultados obtidos e, assim, promover uma sistematização no emprego de sistemas embarcados no auxílio da promoção do bem-estar destas pessoas.

Com base no estudo dos dados identificados, pretende-se desenvolver um sistema embarcado voltado para o tratamento e reabilitação de pessoas com deficiências motoras severas, no intuito de garantir a estes uma melhor qualidade de vida durante a realização de suas atividades da vida diária. Tal sistema visa proporcionar um método alternativo para condução de cadeira de rodas motorizada sem o auxílio de terceiros. Nessa linha de raciocínio, verifica-se que este trabalho possui alta viabilidade, uma vez que possui baixo custo financeiro, é importante para o avanço tecnológico e científico na área de engenharia biomédica e afins.

**REFERÊNCIAS**

AIELLO, G. et al. (2016). Component based design of a drug delivery capsule robot. Sensors Actuators, A Phys., vol. 245, pp. 180–188.

BAILEY, J. et al..(2007). Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey. First International Symposium on Empirical Software Enginee ring and Measurement. Computer Society.

BASAIF, A. A. et al. (2016). Design and implementation o fanembedded system toanaly sisanec gsignal for heart diagnosis system. J. Theor. Appl. Inf. Technol., vol. 91, no. 2, pp. 289–297.

BI, L. et al. (2018). A Novel Method of Emergency Situation Detection for a Brain-Controlled Vehicleby Combining EEG Signal swith Surrounding Information. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., vol. 26, no. 10, pp. 1926–1934.

BIRVINSKAS, D. et al. (2015). Fast DCT algorithms for EEG data compression in embedded systems. Comput. Sci. Inf. Syst., vol. 12, no. 1, pp. 49–62.

BOSNAK, M. et al. (2017). Embedded control system for smart walking assistance device. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., vol. 25, no. 3, pp. 205–214.

BRAZ, J. Realidade Aumentada na Engenharia Biomédica: um Estado da Arte. 5º Workshop em Engenharia Biomédica, Instituto Superior Técnico/UTL, Lisboa, Portugal, 2010. Disponível em: http: ltodi.est.ips.pt / jbraz / ficheiros/AppRAnaEB.ppt.

BURDEA, G.; COIFFET, P. Virtual Reality Technology. Wiley Interscience. 2003.

CHEN, P. H. et al. (2015). A smart safety cane for human fall detection. Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput., vol. 20, no. 1, pp. 49–65.

CLEMENTE, F. et al. (2019). Development of an Embedded Myokinetic Prosthetic Hand Controller. Sensors, vol. 19, no. 14, p. 3137.

COSTA, Rosa Maria; RIBEIRO, Marcos Wagner. Aplicações de realidade virtual e aumentada. Porto Alegre: SBC, 2019. 146 p.

DAMASCENO, Eduardo et al. Proposta de um ambiente de reabilitação motora virtual de baixo custo. São Paulo: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2019.

DE VENUTO, D. et al. (2018). FPGA-base dembedded cyber-physical platform to assessgaitand postural stability in parkinson’s disease. IEEE Trans. Components, Packag. Manuf. Technol., vol. 8, no. 7, pp. 1167–1179.

DRAB, S.; ARTNER, N M. Motion Detection as Interaction Technique for Games & Applicationson Mobile Devices. Pervasive Mobile Interaction Devices, Munich, Alemanha, 2015.

DROPS, R.. Realidade aumentada: das telas de ficção a sua webcam. Passo Fundo, v. 25, 2018.

DURLACH, N.I.; MAVOR, A.S. - Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges, National academy Press, Washington, DC, 2015.

GARCÍA, P. A. (2014). Anembedded system for evoked biopotential acquisition and processing. Int. J. Embed. Syst., vol. 6, no. 1, pp. 86–93.

GU, Z. et al. (2018). A cyber-physical system framework for early detection of paroxys maldiseases. IEEE Access, vol. 6, no. c, pp. 34834–34845.

HE, Y. et al. (2019). Development of distributed control system for vision-basedmyo electric prostheti chand. IEEE Access, vol. 7, pp. 54542–54549.

HOU, W. et al. (2019). On-Chip Hardware Accelerator for Automated Diagnosis Through Human-Machine Interactions in Healthcare Delivery. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., vol. 16, no. 1, pp. 206–217.

IEEE Xplore Digital Library. 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org. Acesso em: 08 nov. 2020.

JESIE, R. S..(2016). A portable ECG monitor based on embedded system technology Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences A Portable ECG Monitor Based On Embedded System Technology, August 2016.

KAWALA-JANIK, A. et al. (2015). Method for EEG signal spattern recognition in embedded systems. Elektronir Elektro tech nika, vol. 21, no. 3, pp. 3–9.

LAGHARI, A. et al. (2018). Cyber physical system for stroke detection. IEEE Access, vol. 6, no. c, pp. 37444–37453.

LIN, K. et al. (2016). Journal Teknologi SOC-BASED BIOMEDICAL EMBEDDED SYSTEM. vol. 5, pp. 123–134.

LIU, J. et al. (2014). An open and configura ble embedded system for EMG pattern recognition implementation for artificial arms. 2014 36th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC 2014, pp. 4095–4098.

MA, R. et al. (2018). An Intelligent Thermal Sensing System for Automatic, Quantitative Assessment of Motion Training in Lower-Limb Rehabilitation. IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst., vol. 48, no. 5, pp. 661–669.

MACHADO, L. S.; MORAES, R.M. ; NUNES, F.L.S. Serious games para saúde e treinamento imersivo. In: Nunes, F.L.S.; Machado,L.S.;Pinho, M.S.; Kirner,C.. (Org.). Abordagens práticas de realidade virtual e aumentada. 1 ed. Porto Alegre (RS): Sociedade Brasileira de Computação, 2009, v. 1, p. 31-60.

MADHURI, S. et al. (2017). Electrodermalactivity (eda) based wearable device for qunatifying normal and abnormal emotions in humans. ARPN J. Eng. Appl. Sci., vol. 12, no. 12, pp. 3730–3735.

MAIER, J. et al. (2018). Improved Prosthetic Control Basedon Myoelectric Pattern Recognition via Wavelet-Based De-Noising. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., vol. 26, no. 2, pp. 506–514.

MASTINU, E. et al. (2017). Embedded System for Prosthetic Control Using Implanted Neuromuscular Interfaces Accessed Via an Osseo integrated Implant. IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst., vol. 11, no. 4, pp. 867–877.

MATSUMURA K. K, SONNINO R. Fusion4D – Interface Natural e Imersiva para Manipulação de Objetos 3D. Trabalho de Conclusão apresentado a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais (PCS). São Paulo, 2011. 109 p.

MEATTINI, R. et al. (2018). AnsEMG - Based Human-Robot Interface for Robotic Hands Using Machine Learning and Synergies. IEEE Trans. Components, Packag. Manuf. Technol., vol. 8, no. 7, pp. 1149–1158.

MUNOZ, F. et al. (2016). A magneticall yactuated drug delivery system for robotic endoscopic capsules. J. Med. Devices, Trans. ASME, vol. 10, no. 1.

PETERSEN, K. et al. (2008). Systematic Mapping Studies in Software Engineering. School of Engineering, Blekinge Institute of Technology. University of Bari, Italy, 26 - 27 June 2008.

PUBMED. 2020. Disponível em: https: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed. Acesso em: 08 nov. 2020.

RASHID, N. et al. (2018). Design of Embedded System for Multivariate Classification of Fingerand Thumb Movements Using EEG Signals for Control of Upper Limb Prosthesis. Biomed Res. Int., vol. 2018.

SÁNCHEZ, J. et al. (2011). Virtual reality and assistive technologies for people with disabilities. In: International Journal on Disability and Human Development, v.10, n.4, p.275-276.

SCIENCE Direct. 2020. Disponível em: http: www.sciencedirect.com. Acesso em: 08 nov. 2020.

SHAKIR, M. et al. (2014). Embedded we arable EEG seizure detection in ambulatory state. Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol., vol. 15, no. 3, pp. 1–6.

STUART, R.. (2006).The Design of Virtual Environments. Fairfield: McGraw-Hill, 274p.

SUNDARESAN, Y. B. et al. (2014). Cloud integrated low costcustomizables mart medical chair for diagnosis and doctor assistance. Int. J. Intell. Eng. Syst., vol. 7, no. 3, pp. 10–17.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson. Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada. Porto Alegre: SBC, 2006, 412 p.

TOVAR-ESTRADA, M. et al. (2019). Implementation of a Scale-Lab Lower-Limb Exoskeleton with Motion in Three Anatomical Planes. Cybern. Syst., vol. 0, no. 0, pp. 1–23.

VINCE, J..(2005). Virtual Reality Systems. Boston: Addison-Wesley, 388p.

WOLPAW, J. et al. (2002). Brain computer interfaces for communication and control. In: Clinical Neurophysiology, v.113, n 6, p.767-791.

ZHANG, T. et al. (2018). Design and Functional Evaluation of a Dexterous Myo electric Hand Prosthesis with Biomimetic Tactile Sensor. IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., vol. 26, no. 7, pp. 1391–1399.

**AUTORES:**

**Flávia Gonçalves Fernandes**, Mestre em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Uberlândia. Graduada em Engenharia da Computação pela Universidade de Uberaba (UNIUBE). Doutoranda em Ciências Exatas e Tecnológicas pela Universidade Federal de Goiás (UFG) - Regional Catalão. Professora da área de Informática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - Campus Dourados. E-mail: [flavia.fernandes92@gmail.com](mailto:flavia.fernandes92@gmail.com)

**Eder Manoel de Santana**, Mestre em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Uberlândia.Graduado em Sistemas de Informação pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).Professor do Centro Universitário de Patos de Minas. [profedersantana@gmail.com](mailto:profedersantana@gmail.com).