

# Mapeamento sistemático sobre o uso de sistemas embarcados na medicina e bioengenharia

Eder M. Santana, Flávia G. Fernandes, Eduardo L. M. Naves

**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 PubMed. 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.

## 1 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), eletrooc-

---

Eder M. Santana  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.  
e-mail: profedersantana@gmail.com

Flávia G. Fernandes  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Campos Belos, Campos Belos, Goiás, Brasil.  
e-mail: flavia.fernandes92@gmail.com

Eduardo L. M. Naves  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.  
e-mail: eduardonaves@yahoo.com.br

---

*Anais do XV Encontro Anual de Ciência da Computação (EnAComp 2020)*. ISSN: 2178-6992.

Catalão, Goiás, Brasil. 25 a 27 de Novembro de 2020.

Copyright © autores. Publicado pela Universidade Federal de Catalão.

Este é um artigo de acesso aberto sob a licença CC BY-NC (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

logramas (EOG), eletroencefalogramas (EEG), eletromiogramas (EMG) entre outros biopotenciais (**03Sanchez2011**).

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 (**03WOLPAW2002**).

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 (**03WOLPAW2002**).

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 (**03Stuart1996**).

De acordo com **03Vince1995**, 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.

## 2 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 **03Bailey2007** e **03Petersen2008**, 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<sup>1</sup>, Science Direct<sup>2</sup> e PubMed<sup>3</sup>, 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 bioengineering)". 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.

## 3 Resultados e discussões

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.

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 bioengineering)".

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.

<sup>1</sup> <https://ieeexplore.ieee.org>

<sup>2</sup> <http://www.sciencedirect.com>

<sup>3</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

Banco de dados	Número de artigos	
	Inicial	Com título aderente
PubMed	14	11
IEEE Xplore	20	15
Science Direct	38	19
Total	72	<b>50</b>

Tabela 1: Síntese dos resultados obtidos nas pesquisas.



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.

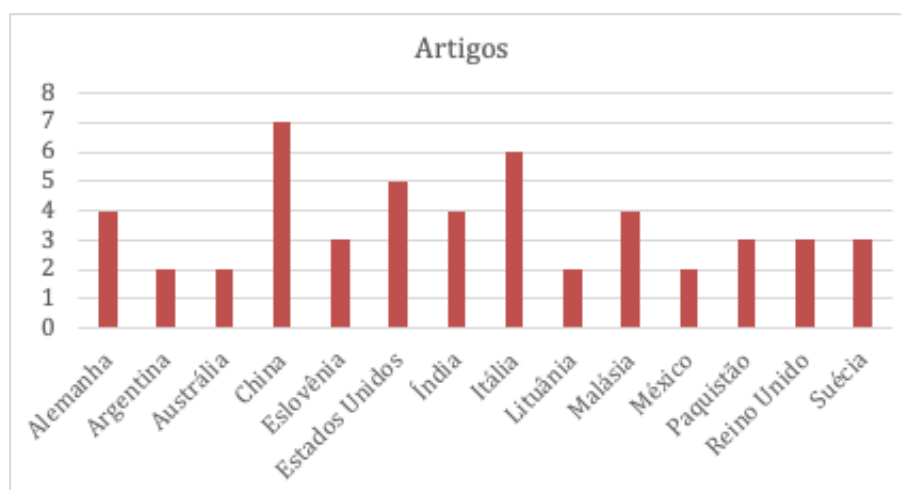


Figura 2: Número de artigos por ano de publicação.

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: *Sensors and Actuators: A Physical*; *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*; *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*;

*International Journal of Intelligent Engineering & Systems; International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing; IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering; IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems. IEEE Access; Elektronika ir Elektrotechnika; Computer Science and Information Systems; ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.*

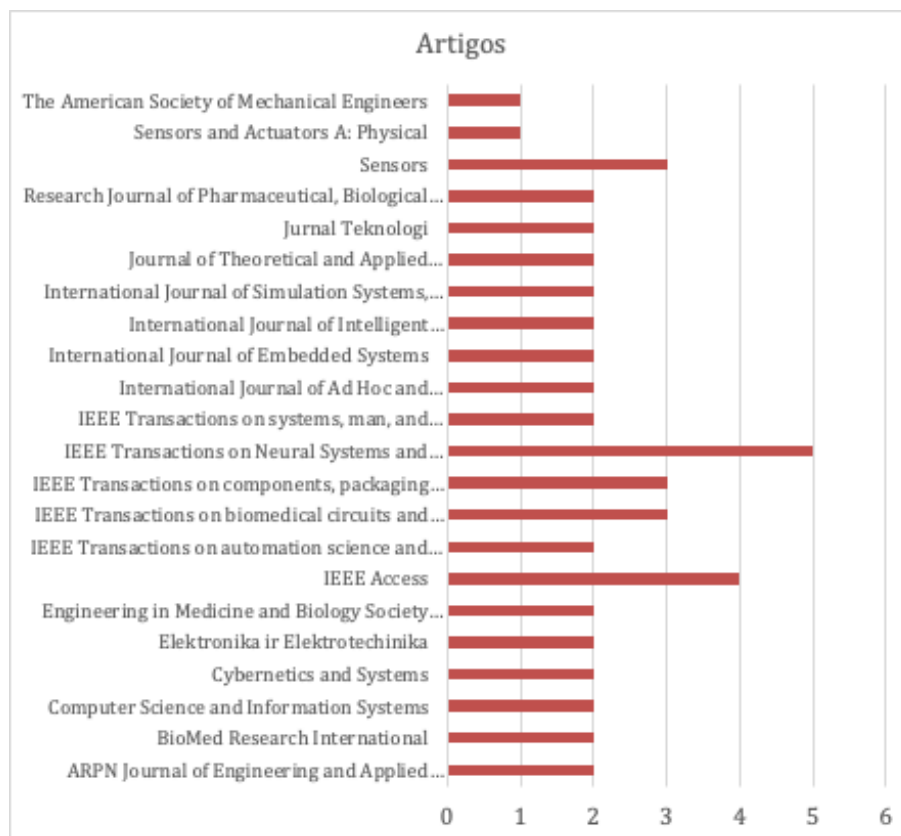


Figura 3: Número de artigos por ano de publicação.

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.

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.

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

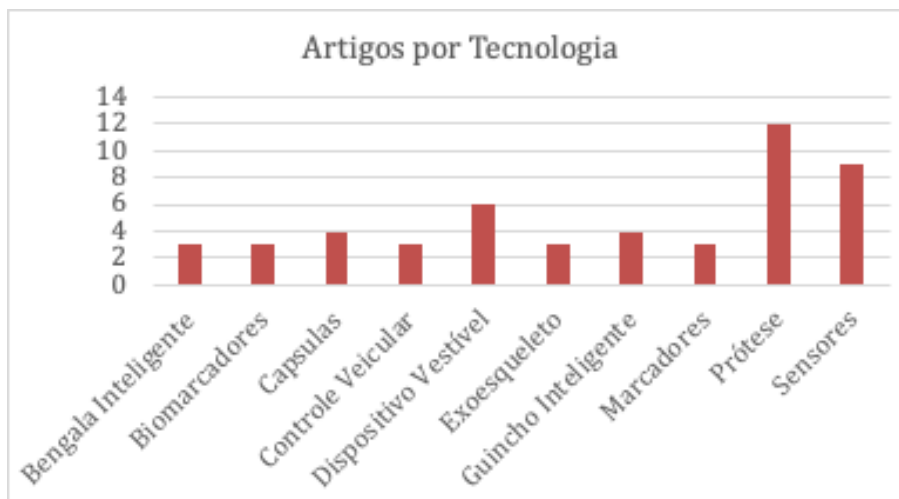


Figura 4: Número de artigos por ano de publicação.

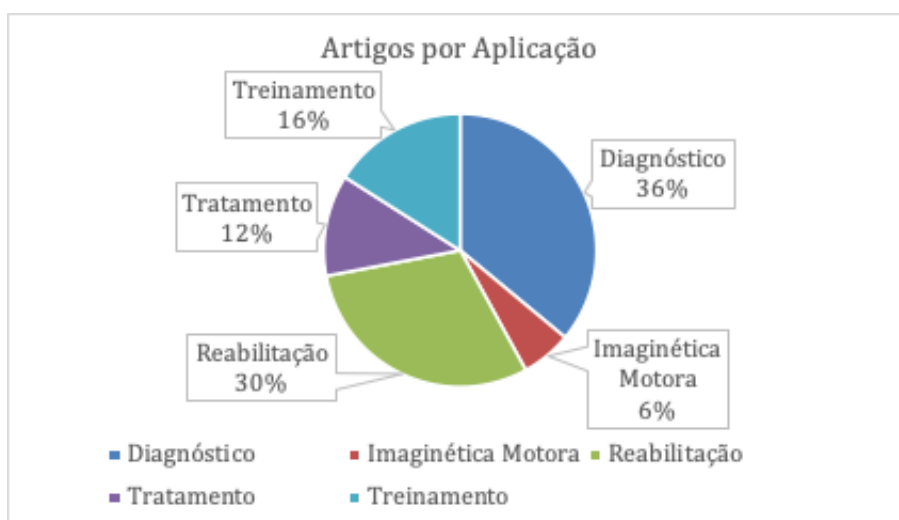


Figura 5: Número de artigos por ano de publicação.

o eletrocardiograma (EEG) e a eletromiografia (EMG) foram os equipamentos mais utilizados nos trabalhos selecionados a respeito da temática pesquisada neste mapeamento sistemático.

## 4 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.

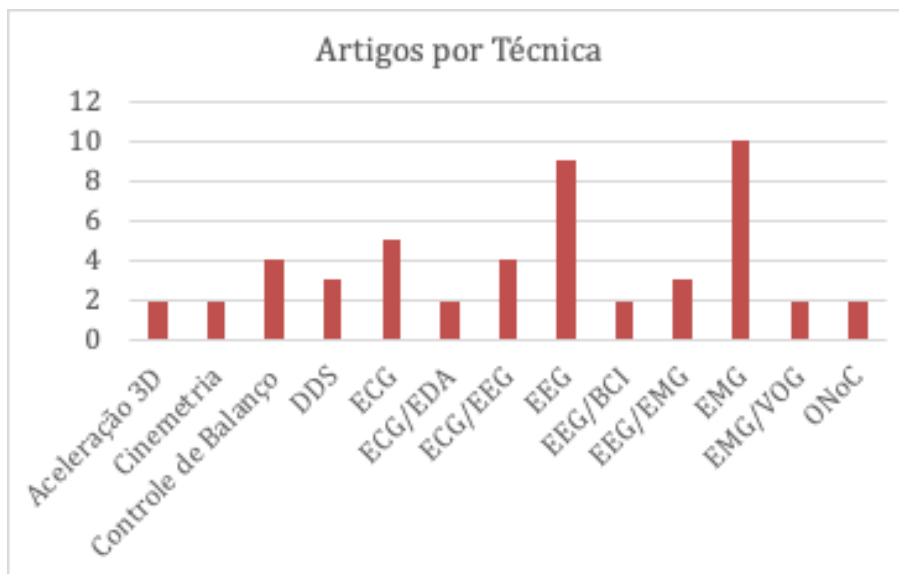


Figura 6: Número de artigos por ano de publicação.

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**

- BEGA, E. A. **Instrumentação industrial**. 2th. [S.l.]: Rio de Janeiro: Inter ciência, 2006.
- BINGHAM, J.; DAVIES, G. W. P. E. **Instrumentação industrial**. [S.l.]: Manual de análise de sistemas, 1977.
- CHAPMAN, Stephen J. **Programação em MATLAB para engenheiros**. [S.l.]: São Paulo: Thomson, 2003.
- FIALHO, A. B. **Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises**. 6th. [S.l.]: São Paulo: Érica, 2008.
- LEONARDI, F. **Controle Essencial**. 1th. [S.l.]: Pearson Editora, 2010.
- NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 3th. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4th. [S.l.]: Pearson Editora, 2011.
- TRIVELATO, G. C. **Comparação de Ambientes de Modelagem e Simulação (Nota Técnica)**. São José dos Campos: INPE, 2003.