

# Sistema de sensoriamento de baixo custo para uma plataforma de controle *beam and ball*

Ruan Robert Bispo dos Santos<sup>1</sup> e Lucas Molina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electrical Engineering Department, Federal University of Sergipe – ruanrobert00.rr@gmail.com

<sup>2</sup>Electrical Engineering Department, Federal University of Sergipe - lmolina@ufs.br

*Resumo*— Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento de baixo custo de uma plataforma de controle didática do tipo *beam and ball*, relativo ao sensoriamento de posição da bola. Frequentemente é utilizado, para esse tipo de problema, o sensoriamento baseado em aquisição de sinais refletidos, como o caso dos sensores laser, infravermelho, ultrassom e câmeras, ou através do sensoriamento potenciométrico, por meio de fitas resistivas. No entanto, os sensores por reflexão sofrem de forma considerável com variações no ambiente, implicando diretamente na resposta do sistema controlado, e as fitas potenciométricas possuem um custo de aquisição que torna o seu uso restrito. Assim, através da construção de um sensor artesanal elaborado com cordas de violão, é proposto o desenvolvimento e caracterização de um sistema de sensoriamento potenciométrico linear com baixo atrito para o problema.

*Palavras-Chave*—beam and ball, plataforma didática de controle, instrumentação eletrônica, sensoriamento potenciométrico

## I. INTRODUÇÃO

Com o atual avanço tecnológico e científico, a automatização de diversos processos foi possível, desde sistemas de pilotagem de aviões e navios a veículos espaciais, linhas de produção, dentre outros [1]. Desse modo, há uma busca crescente por melhorias nas áreas de controle, automação e instrumentação, sendo um dos focos principais de ensino dentro das universidades [2].

Sendo assim, para auxiliar no ensino dessas áreas, dando o suporte prático necessário à teoria vista em sala de aula, uma série de protótipos de plantas didáticas simplificadas foram criadas [3]. Essa família de plantas tem como objetivo principal trabalhar alguns conceitos teóricos isolados de processos complexos encontrados na indústria e linhas avançadas de pesquisa [4]. São exemplos: a estabilidade de foguetes e aviões durante o voo, navegação subaquática, rejeição de perturbações no controle de suspensões ativas de automóveis, processos químicos, dentre outros.

Geralmente ligado a problemas como a estabilização horizontal de aviões durante o pouso e passagem em turbulentos fluxos de ar [5], o sistema *beam and ball* faz parte de uma subfamília de processos que tratam de um problema de instabilidade intrínseca, apresentando-se como um grande desafio para a área de controle e automação [6], sendo caracterizado pela movimentação de uma esfera em uma dimensão que percorre a superfície de uma barra por meio de atuação angular.

Tal sistema é composto por dois graus de liberdade: a inclinação da barra e a posição inicial da esfera, possuindo um controle que atua exclusivamente na inclinação da barra através de um motor e indiretamente a posição da esfera, sendo, portanto, considerado sub-

atuado [7] ou superarticulado [8]. Desse modo, é possível rastrear a posição da bola para um ponto de referência desejado rejeitando perturbações, englobando, assim, um dos focos principais do ensino de controle na cadeia universitária.

Atualmente, existem no mercado, diversas empresas que oferecem plantas com o intuito de suprir essa necessidade acadêmica, de forma que possam servir de plataforma focadas para sistemas de controle. No entanto, essas plantas possuem um alto valor financeiro, impactando diretamente no número de universidades que dispõem dessa ferramenta de ensino. Assim, a construção de plantas didáticas de baixo custo dentro das próprias universidades tem se difundido, abrindo oportunidades, tanto para o ensino em matérias ofertadas, quanto para projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

Um dos maiores desafios da construção desse tipo de planta, acaba se tornando o sensoriamento, que no caso do *beam and ball* é referente à posição da bola, por ser este o sinal de realimentação do sistema de controle, implicando assim diretamente na resposta do sistema. Portanto os dados de posição da bola têm a necessidade de serem precisos, exatos e terem uma taxa de atualização suficientemente rápida de forma que não afete a dinâmica do sistema. Isso leva a uma série de pesquisas na área com sensores como infravermelho, resistivo, ultrassom, entre outros, com o fim na resolução do problema.

Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho trata do desenvolvimento do sistema de sensoriamento de posição da bola para uma plataforma didática *beam and ball*, uma vez que sua medição corresponde a um dos dados mais importantes de sensoriamento do sistema, sendo também responsável por parte considerável do custo total financeiro do projeto. Sendo que, nesta primeira etapa, foi dada ênfase para os primeiros testes com o sensor e uma pesquisa relacionada aos sistemas de posição já utilizados pela literatura, para que a elaboração do sensoriamento artesanal possa ser validada.

## II. SISTEMA PROPOSTO

### A. Construção do protótipo de testes

Com o objetivo de analisar o comportamento resistivo de cordas de violão, foi construída uma estrutura para testes nesta primeira etapa do projeto, de forma que estivesse integrada com o sistema *beam and ball*.

A estrutura é composta por duas hastes de alumínio conectadas por um material isolante, nesse caso madeira, que as une aos quatro parafusos que tensionam as cordas. Esse tensionamento foi realizado por meio de porcas que se enroscam aos parafusos alocados com folga na estrutura de madeira, causando um deslocamento para fora, esticando as cordas. O protótipo pode ser visto na figura 1:



Figura 1: estrutura de testes do sensor potenciométrico artesanal

Sendo assim, através do contato de uma esfera metálica de 1.5 cm de diâmetro com ambas as cordas, percorrendo um comprimento de 35 cm, o circuito de medição é fechado, sendo este, excitado por uma fonte de alimentação externa de 5V. Desse modo é possível determinar a variação de resistência ao longo do comprimento das cordas. A figura 2 ilustra de forma simplificada o funcionamento do sensor.

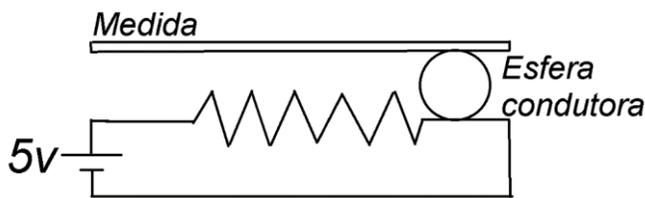


Figura 2: esquemático de funcionamento do sensor

### B. Testes com o sensor

A partir do protótipo construído, foi realizada uma série de testes com várias cordas de espessuras e tensionamentos mecânicos diferentes, estando inclusas cordas de aço de violão e guitarra, sendo que as cordas de aço forneceram uma resposta indesejável no sistema, com uma baixa resistência e alta taxa de ruídos, em geral as cordas ofereciam resistências variando entre valores abaixo de 1 ohm e, em sua margem superior, atingia poucos ohms, dificultando sua medição por meios convencionais.

No entanto, os experimentos realizados com o as cordas de nylon de alta tensão mecânica número 4, 5 e 6, referentes as notas Ré, Lá e Mi, nesta ordem, ocasionaram em uma resposta diferente do visto para outros tipos de cordas, possuindo uma boa resistência elétrica e baixo nível de ruídos em comparação com demais cordas. A maior resistência elétrica medida foi referente à corda número 4, possuindo uma variação de aproximadamente 8 ohms por centímetro.

Fazendo uso de um multímetro e um escalímetro, foram coletados os valores referentes a variação de tensão por centímetro quando o sistema é excitado com uma diferença de potencial de 5V. A partir dos dados obtidos foi composto um gráfico de resistência elétrica por posição, dividindo os valores de tensão elétrica obtidos pela corrente incidente no circuito, como ilustrado na figura 3:

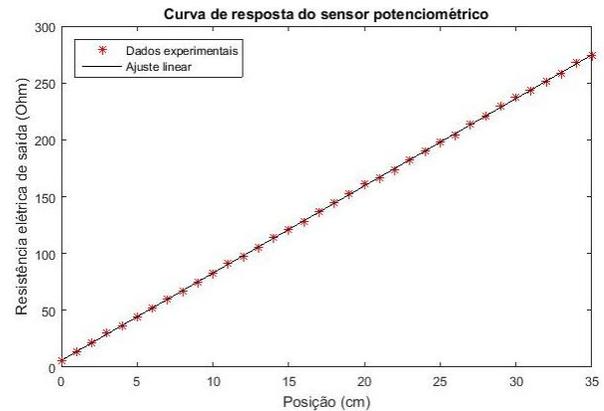


Figura 3: dados obtidos pelo sensor construído

Em posse dos valores coletados, foi realizado um ajuste linear utilizando o método dos mínimos quadrados [9], com o software MATLAB, de forma que fosse possível conhecer a variação de resistência referente a cada centímetro medido. Esse ajuste retornou o valor de 7.8 ohms por centímetro com um valor inicial, referente a origem das medições de distância com o escalímetro de 5.9 ohms.

### III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme cronograma proposto, os resultados alcançados foram: revisão bibliográfica acerca do sensoriamento de distância de forma que fosse possível iniciar os primeiros testes com o sensoriamento artesanal, por possuir vantagens em relação aos demais.

Para a segunda etapa do projeto será primeiramente realizada uma caracterização do sensor, com incertezas e principais dados obtidos nos experimentos. Aliado a isso, será realizada uma coleta de dados mais densa, para cordas e tensionamentos diferentes, além de testes com circuitos em ponte, de tal forma que a escolha do sensoriamento para a plataforma possa ser melhor embasada. Por fim, será feita a composição do sensor com o sistema mecânico e eletrônico completo, de tal modo que valide sua construção.

### REFERÊNCIAS

- [1] Ogata, Katsuhiko, and Yanjuan Yang. *Modern control engineering*. Vol. 4. India: Prentice hall, 2002.
- [2] Schaf, Frederico Menine. "Arquitetura modular para ambientes virtuais de ensino de automação com suporte à realidade mista e colaboração." (2011).
- [3] Rothe-Neves, Max, Orlando Fonseca Silva, and José Augusto Lima Barreiros. "Metodologia para a construção de protótipos didáticos para os cursos de controle e automação de sistemas." Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. COBENGE. 2004..
- [4] Ramos, Mario Bertt de Arruda, "Proposta de planta didática multiprocesso e multitarefa". 2013.
- [5] Wang, Wei. "Control of a ball and beam system." Adelaide: The University of Adelaide (2007).
- [6] Ito, Bennett Takeo. "Stabilizing the ball on beam system with analog feedback". Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [7] Olfati-Saber, Reza. "Nonlinear control of underactuated mechanical systems with application to robotics and aerospace vehicles". Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [8] Seto, D., and J. Baillieul. "Control problems in super-articulated mechanical systems." IEEE Transactions on Automatic Control 39.12 (1994): 2442-2453.
- [9] Helene, Otaviano. *Métodos dos Minimos Quadrados*. Editora Livraria da Física, 2006.