

# PONTO DE CONTROLE 1 – PROPOSTA DE PROJETO

## Controle PID de pêndulo invertido utilizando FPGA

*Hachid Habib Cury*

Programa de Engenharia Eletrônica  
Faculdade do Gama  
Universidade de Brasília – UnB  
Brasília, Brasil  
hachidcury@gmail.com

*Larissa Aidê Araújo Rocha*

Programa de Engenharia Eletrônica  
Faculdade do Gama  
Universidade de Brasília – UnB  
Brasília, Brasil  
larissa.aide1@gmail.com

**Resumo**— ESTE PROJETO VISA DESENVOLVER UM CONTROLADOR PID EM PONTO FLUTUANTE COM A UTILIZAÇÃO DE UMA FPGA PARA O CONTROLE DE UMA BASE MÓVEL, NO QUAL SERÁ MOVIMENTADA PARA EQUILIBRAR UM PÊNDULO INVERTIDO.

**Palavras-chave**— *FPGA; Pid; Controle; Vhdl; Pêndulo Invertido;*

### I. JUSTIFICATIVA

A utilização de sistemas de controle automáticos encontra-se cada vez mais inserida no nosso cotidiano. De certa forma esses sistemas agem como catalisadores do desenvolvimento e progresso de ferramentas tecnológicas em geral. São esses sistemas que são responsáveis por gerenciar o comportamento de máquinas ou outros sistemas físicos. Para isso, é necessário realizar a modelagem matemática da planta, seguida do projeto do controlador.

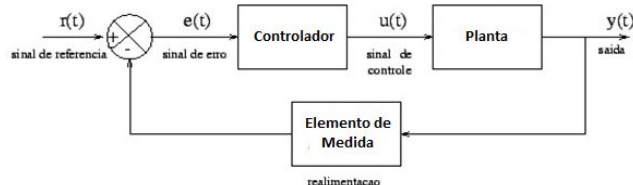


Figura 1: Diagrama de blocos de um sistema genérico

O pêndulo invertido é um conceito muito difundido na área de automação e robótica. Um dos algoritmos de controle amplamente aplicado nesta área é fazer o movimento do carro em conformidade com a estabilidade do pêndulo invertido, como por exemplo veículo de transporte humano, o que futuramente pode se apresentar como alternativa de transporte automático para áreas urbanas, incluindo sua utilização por deficientes físicos. Além disso, estudos de robôs autônomos baseados nesse conceito têm sido realizados pela NASA, apresentando resultados significativos.

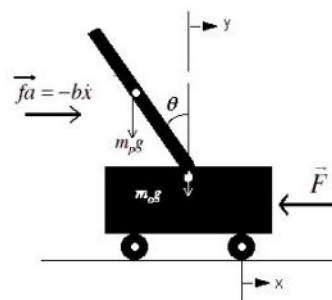


Figura 2: Sistema do Pêndulo Invertido em uma base móvel

Apesar de se tratar de um sistema mecânico bastante simples o pêndulo invertido é um mecanismo com característica dinâmica intrinsecamente instáveis. Uma analogia simples é a brincadeira de equilibrar um cabo de vassoura na palma da mão. O problema da instabilidade pode ser adequadamente resolvido por técnicas de controle, isto é, fazendo uma representação do sistema por meio de uma planta, bem como o projeto de um sistema automático de controle, do tipo proporcional-integral-diferencial (PID).

A implementação de controladores PID usando microprocessadores e chips DSP é antiga e bem conhecida, porém os Field Programmable Gate Arrays (FPGA) tornaram-se uma solução alternativa para a realização de sistemas de controle digital, anteriormente dominados pelos sistemas de microprocessadores de uso geral.

Consequentemente, sabendo da importância do PID não somente para a compensação do pêndulo invertido, mas também para uma vasta área da engenharia, é de suma importância o desenvolvimento de ferramentas robustas o suficiente para auxiliar na estabilização de sistemas. Dessa forma, o projeto proposto visa desenvolver um equipamento com objetivo principal de trabalhar diversas ferramentas aprendidas durante o curso de engenharia eletrônica para fazer um controle eficiente e robusto embarcado em uma FPGA.

## II. OBJETIVOS

Construir um sistema embarcado em uma FPGA com o intuito de equilibrar uma estrutura móvel. Essa estrutura será modelada matematicamente como um pêndulo invertido e utilizará um potenciômetro com conversor DA para a leitura da posição do corpo. Além disso, serão abordados no projeto alguns dos detalhes da implementação, considerações com matemática de ponto flutuante, uso de recursos e métodos de ajustes

## III. REQUISITOS

Para atendermos os nossos objetivos, projetaremos um controlador PID digital em uma FPGA no qual fará a compensação da posição do pêndulo. Essa compensação será feita utilizando uma base móvel que se movimenta por um motor de passo controlado.

Nosso projeto terá 1 grau de liberdade, então para a leitura da posição do pêndulo utilizaremos um potenciômetro junto com um conversor AD, esses dados serão passados para a FPGA que fará o controle do mesmo.

A escolha da FPGA para esse projeto foi feita devido sua eficiência na tomada de decisão rápida, sendo possível analisar os dados de entradas e fazer um controle basicamente no mesmo instante. Sua capacidade de fazer cálculos paralelos e obter com resultado mais rápido pode ser um vantagem a ser explorada durante desenvolvimento do projeto.

## IV. BENEFÍCIOS

O controle PID está presente atualmente em 90% das aplicações industriais, porém, o controle de sistemas utilizando este método não é robusto o suficiente para determinadas aplicações quando se trata de sistemas instáveis em malha aberta. O projeto do PID para o pêndulo invertido utilizando a FPGA, ajudará a manter um bom desempenho numa ampla faixa de operação, compensando assim o comportamento oscilante do pêndulo.

Além disso, o estudo do pêndulo invertido é de grande importância para a engenharia porque trata-se de um sistema dinâmico de difícil controle e que possui analogia com diversos problemas, dessa forma a realização do projeto irá acarretar o conhecimento tanta na área de circuitos reconfiguráveis como também em outras áreas bastante importantes na engenharia.

## V. REFERÊNCIAS

- [1] PID Controller Using FPGA Technology <https://www.intechopen.com/books/advances-in-pid-control/pid-controller-using-fpga-technology> <Acesso em: 08/04/2019>
- [2] Projeto de controladores pi/pid discretizados para velocidade angular de um robô móvel com tração diferencial <https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CBA2018-1156.pdf> <Acesso em: 09/04/2019>
- [3] Projeto, implementação e ensaios de um controlador pid utilizando FPGA <http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2010.1/MATHEUS%20SALES%20BEZERRA.pdf> <Acesso em: 11/04/2019>
- [4] Design and implementation of PID controller based on FPGA and genetic algorithm <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6013491> <Acesso em: 11/04/2019>
- [5] Controle PID de forma simples <https://www.citisystems.com.br/controle-pid/> <Acesso em: 11/04/2019>
- [6] PID control implementation using FPGA technology <https://ieeexplore.ieee.org/document/4802526> <Acesso em: 11/04/2019>
- [7] Construção e Controle do Sistema Pendulo Invertido <http://physika.info/site/documents/Prado2011.pdf> <Acesso em: 11/04/2019>
- [8] IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE UM PÊNDULO INVERTIDO <https://saturno.unifei.edu.br/bim/0030714.pdf> <Acesso em: 11/04/2019>
- [9] PENDULO INVERTIDO AUTO EQUILIBRANTE DE EIXO ÚNICO <http://cursos.chapeco.ifsc.edu.br/engenharia/wp-content/uploads/sites/2/2013/10/PENDULO-INVERTIDO-AUTO-EQUILIBRANTE-DE-EIXO-%C3%A9ANICO.pdf> <Acesso em: 11/04/2019>
- [10] Controle de um Pêndulo Invertido <https://electronicsforall.files.wordpress.com/2010/04/monografia-pendulo-invertido.pdf> <Acesso em: 11/04/2019>
- [11] Case study of PID control in an FPGA <https://www.embedded.com/design/configurable-systems/4212241/Case-Study-of-PID-Control-in-an-FPGA-> <Acesso em: 11/04/2019>
- [12] Monociclo (pêndulo invertido) [http://www.usp.br/ldsv/?page\\_id=369](http://www.usp.br/ldsv/?page_id=369) <Acesso em: 11/04/2019>