



II Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica  
II EnICT  
ISSN: 2526-6772  
IFSP – Câmpus Araraquara  
26 e 27 de Outubro de 2017



## DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA CONTROLE DE VELOCIDADE PARA CICLOERGÔMETROS MOTORIZADOS

JOÃO GILBERTO V.B. PEREIRA<sup>1</sup>, GABRIEL FERNANDES<sup>2</sup>, OSWALDO A. BERALDO<sup>3</sup>, ANDRÉ DA MOTA GONÇALVES<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Araraquara, joao.gilberto@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Araraquara, gabriel07607@gmail.com.

<sup>3</sup> Prof. Me. Oswaldo Antônio Beraldo, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Araraquara, oaberaldo@ifsp.edu.br.

<sup>4</sup> Prof. Dr. André da Motta Gonçalves, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Araraquara, andre.motta@ifsp.edu.br.

**Área de conhecimento** (Tabela CNPq): Automação eletrônica de processos elétricos e industriais - 3.05.04.03

**RESUMO:** Esta pesquisa tem como finalidade o desenvolvimento e a implantação do sistema de controle de velocidade em um ciclo ergômetro motorizado. Ela conta com a metodologia de projetos e está baseada em pesquisas da área fisioterapêutica. Além disso, tem como foco a confecção de um circuito impresso para controle de velocidade em ciclo ergômetros passivos, que garanta velocidade constante ao longo do exercício, sem que haja perda de potência do sistema de motorização. Foram utilizados para o desenvolvimento do protótipo os laboratórios como espaço físico, bem como a Biblioteca do Instituto Federal de São Paulo do câmpus Araraquara para levantamento bibliográfico, além de componentes dimensionados com base nas pesquisas de campo, ensaios e experimentos. O ciclo ergômetro motorizado é um equipamento variante da bicicleta ergométrica, que realiza movimentos rotativos cíclicos com a utilização de um motor; o equipamento é amplamente utilizado na área fisioterapêutica, especificamente, para a reabilitação de pessoas debilitadas na parte cognitiva, que necessitam de exercício fisioterapêuticos passivos. A conclusão desse projeto demonstra, baseada nos resultados obtidos, que é possível o desenvolvimento de controle de velocidade para ciclo ergômetros motorizados; de maneira que o conceito de ciclo ergômetro instrumentado possa ser inserido no mercado e utilizado para a reabilitação cognitiva de maneira mais eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Ciclo ergômetro, Sistema de Controle de Velocidade, Motorização, Área Fisioterapêutica, Exercício Fisioterapêuticos Passivo.*

### INTRODUÇÃO

O ciclo ergômetro surge, comercialmente, como uma variante da bicicleta ergométrica, sendo mais prático, compacto, leve, economicamente mais acessível e voltado para uso domiciliar. O ciclo ergômetro é um aparelho estacionário, com mecanismo construído para realizar rotações cíclicas, podendo ser utilizado para realizar exercícios passivos, ativos e resistidos com os pacientes (NEEDHAM; TRUONG; FAN, 2009). Esse aparelho tem sido amplamente utilizado na área fisioterapêutica, no entanto poucos modelos desse equipamento são voltados para atender às diversas necessidades e casos de pacientes desta área, tais como: casos mais críticos nos quais o paciente se encontra hospitalizado, com pouca ou quase nenhuma atividade motora nos membros a serem exercitados e/ou sistema cognitivo motor e a propriocepção debilitados. Esses pacientes necessitam de exercícios fisioterapêuticos passivos, no qual o movimento rotativo é realizado pelo aparelho, por meio de um sistema de motorização, com o intuito de movimentar os membros a serem exercitados

sem gerar esforço físicos para quem está os movimentando. Sendo assim, este projeto tem como objetivo o desenvolvimento e a implantação do sistema de controle de velocidade em um modelo de ciclo ergômetro motorizado, instrumentando-o, com o propósito de realizar o movimento rotativo do sistema de maneira eficiente, com velocidade constante, sem que haja perda de potência no sistema de motorização. O modelo de ciclo ergômetro no qual foi implantado o sistema de motorização e controle de velocidade foi desenvolvido, no ano de 2017, pelo graduando Gabriel Fernandes do curso de mecânica industrial do Instituto Federal do câmpus de Araraquara.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

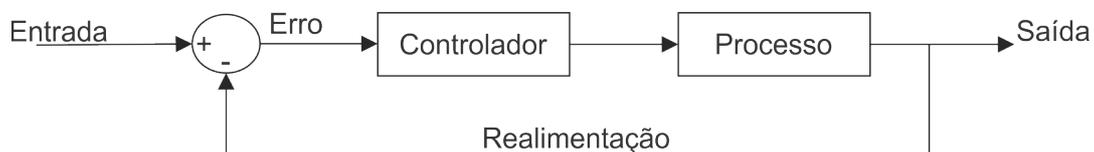
Um Sistema de Controle consiste em subsistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada, com desempenho desejado para uma entrada específica fornecida (NISE, 2013). Um sistema que estabeleça uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, é denominado *sistema de controle com realimentação* (OGATA, 2010). Os sistemas de controle com realimentação também são denominados como sistema de controle em malha fechada. Em um sistema de controle de malha fechada, o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação (que pode ser o próprio sinal de saída ou uma função do sinal de saída e suas derivadas e/ou integrais), realimenta o controlador, de modo a minimizar o erro e acertar a saída do sistema ao valor desejado (OGATA, 2010). Diferentemente dos sistemas de controle em malha fechada, o controle em malha aberta não se mensura o sinal de saída ou o compara com o sinal de entrada, com a finalidade de minimizar erro ou exercer um controle. Na figura 1, ilustramos em forma de diagrama o Sistema de Controle de Malha Aberta.



**Figura 1** – Diagrama sistema de controle malha aberta. Fonte: Produzido pelo próprio Autor.

O sistema de malha aberta possui fácil construção, quando comparado ao sistema de controle de malha fechada, o tornando viável em aplicações na quais não se tem interferências, externas ou internas, que ocasionem distúrbios; ou então, em aplicações em que não se deseja estabelecer um controle.

Uma vantagem do sistema de controle de malha fechada é o fato de que o uso da realimentação faz com que a resposta do sistema seja relativamente insensível a distúrbios externos e a variações internas nos parâmetros do sistema. Dessa forma é possível a utilização de componentes relativamente imprecisos e baratos para obter o controle preciso de determinado sistema, ao passo que isso não é possível nos sistemas de malha aberta (OGATA, 2010). Na figura 2, ilustramos em forma de diagrama o Sistema de Controle de Malha Fechada.



**Figura 2** – Diagrama sistema de controle malha fechada. Fonte: Produzido pelo próprio Autor.

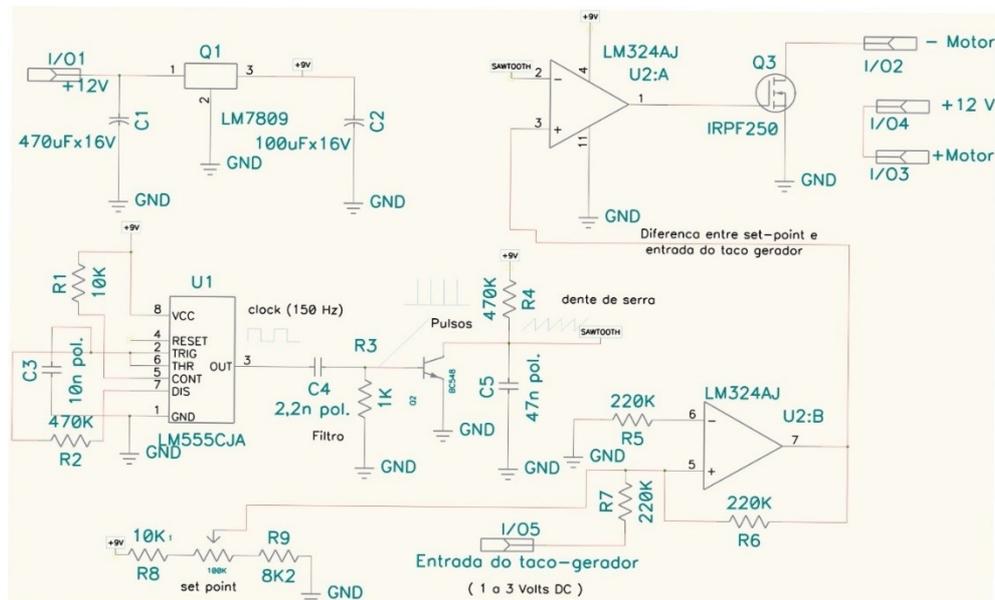
## METODOLOGIA

O levantamento dos materiais a serem utilizados na confecção da placa de circuito impresso para controle de velocidade, bem como a sequência das etapas de montagem e experimentos se deu de acordo com o tipo de motor a ser utilizado para a motorização; torque de partida do motor necessário para a finalidade do equipamento; corrente de partida e nominal do motor; e a rotação nominal do motor.

Para a execução do projeto foi adotado um circuito de controle do motor em malha fechada, representado pelo diagrama na figura 3, devido a necessidade de variar a velocidade do motor sem ocasionar perda de potência e torque. Esse circuito de controle é totalmente analógico e para a confecção da placa, foram necessários os seguintes componentes eletrônicos, um potenciômetro de 100 kΩ; dois amplificadores operacionais de baixa potência (LM324AJ); um circuito integrado LM555CJA; um MOSFET de potência IRF250; um regulador de tensão LM7809; resistores e capacitores de diversos valores para a calibração do circuito.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

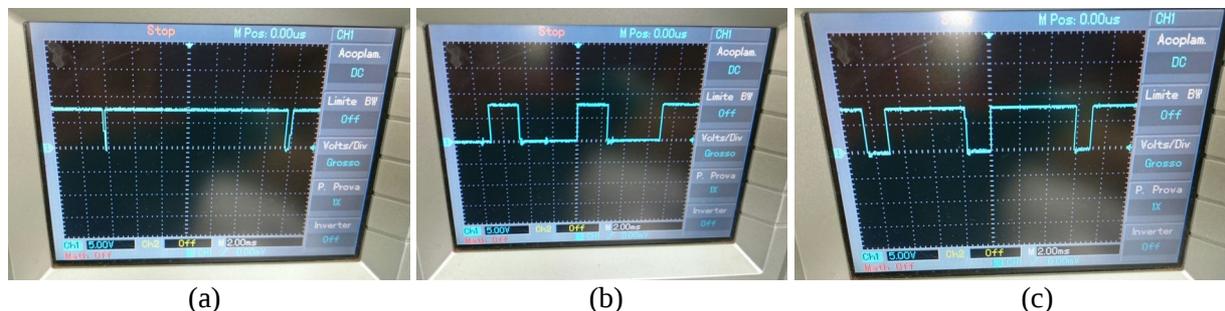
O circuito de controle do motor em malha fechada, elaborado para esta pesquisa, visa o controle da velocidade com a manutenção do torque, mesmo em baixa velocidade. Para que isso ocorra, o circuito tem o seguinte comportamento: o circuito integrado LM555, configurado em modo astável, gera uma onda quadrada de 150 Hz, que será a frequência (*clock*) do PWM. Esse sinal passa pelo diferenciador, formado pelo capacitor C4 e pelo resistor R3, gerando pulsos estreitos na mesma frequência. Esses pulsos são aplicados à base do transistor Q2, chaveando-o para descarregar o capacitor C, que, por sua vez, está constantemente sendo carregado pelo resistor R4. Desse modo, temos no coletor deste transistor, uma onda de tipo dente de serra. A onda dente de serra é comparada com o sinal vindo do amplificador operacional LM324 U2:B, que faz a relação entre o *set point* do potenciômetro e o sinal vindo do tacogerador. O sinal PWM presente na saída do pino 1 do LM324 U2:A é usado para comutar o transistor de potência Q3, um MOSFET que force a corrente para o motor, no entanto, não há armazenamento de dados, para utilização futuras, por parte do sistema de controle. Quanto à alimentação, todo o circuito é alimentado pela fonte de 12 V que passa pelo regulador Q1, fornecendo 9 V estabilizados. O sinal de realimentação, do circuito de controle, será gerado por um motor corrente contínua 12 Volts – tacogerador – com o eixo acoplado a polia movida do sistema de motorização. Na figura 3 a seguir, podemos observar o diagrama eletrônico do circuito de controle.



**Figura 3** – Diagrama do circuito de controle de velocidade no software P-CAD. Fonte: Produzido pelo próprio Autor.

Após a montagem e ensaio do circuito de controle - supervisionando a forma de onda por meio de osciloscópio - observou-se o funcionamento adequado do mesmo, modulando e corrigindo a largura do pulso nos momentos em que se exigia maior esforço, mantendo o torque e a velocidade desejada, conforme o esperado.

Na figura 4 abaixo, da esquerda para direita, temos em (a) largura do pulso próxima ao sinal contínuo, quando submetido a uma carga alta; em (b) menor largura de pulso atingida, quando não há carga submetida e em (c) correção da menor largura do pulso ao se aplicar carga.



**Figura 4** – Formas de onda geradas pelo circuito de controle de velocidade. Fonte: Produzido pelo próprio Autor.

## CONCLUSÃO

Uma vez realizado os ensaios do circuito impresso de controle de velocidade, concluiu-se que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, já que o circuito funcionou conforme o esperado, mantendo a velocidade desejada constante, sem que houvesse perda de torque.

Ao final do período de realização da pesquisa, obtiveram-se o desenvolvimento de um conceito de sistema de controle de velocidade para ciclo ergômetro motorizado com e a construção do protótipo instrumentado.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo do campus Araraquara pelo financiamento da pesquisa por meio do PIBIFSP (Programa Interno de Bolsa do Instituto Federal de São Paulo).

Agradecemos também à professora doutora Ana Claudia Nunciato, docente da área de fisioterapia da UNIARA (Universidade de Araraquara) pela ajuda relacionada à sua área estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NEEDHAM, D.M; TRUONG, A.D; FAN, E. **Technology to enhance physical rehabilitation of critically ill patients**. Crit Care Med. 2009. Oct; 37.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle** – 6ª edição [Reimpr.], LTC, 2013.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno** – 5ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.