

## Construção e Configuração de um Encoder Óptico com Arduino nano para Medição de Rotação em Gerador Eólico

### Construction and Configuration of an Optical Encoder with Arduino Nano for Rotation Measurement in Wind Generator.

Bruna Alves de Souza Holanda<sup>1</sup>, Filipe Marangoni<sup>2</sup>, Juan Libalde Nascimento<sup>3</sup>, Roberto Padilha Rovani<sup>4</sup>, Evandro André Konopatzki<sup>5</sup>

#### RESUMO

A medição das grandezas velocidade e posição podem ser realizadas por um dispositivo chamado Encoder. A sua estrutura determina qual variável a ser medida. O objetivo deste trabalho é desenvolver um encoder óptico e a sua configuração com Arduino nano para medição das rotações alcançadas por um motor de 60W. As partes do encoder foram criadas em impressora 3D e CNC laser para sua montagem e a configuração do Arduino uno para calcular e exibir o valor da rotação. Também são apresentados testes experimentais e comparações de resultados com um tacômetro óptico comercial. O erro entre as leituras é 7 RPM validando a funcionalidade do encoder proposto para os ensaios rotineiros.

**PALAVRAS-CHAVE:**Encoder; Sensor incremental, velocidade.

#### ABSTRACT

Measurement of variables such as speed and position can be performed by a device called an Encoder. Its structure determines which variable to be measured. The aim of this work is to present an optical encoder and its configuration with an Arduino Uno for measuring the rotations achieved by a 60W motor. The encoder parts were assembled using a 3D printer and CNC laser for their assembly, and the Arduino Uno was configured to calculate and display the rotation value. Experimental tests and comparisons of results with an optical tachometer are also presented. The error between the readings is 7 RPM, validating the functionality of the proposed encoder for routine tests.

**KEYWORDS:**Encoder; Incremental sensor, speed.

<sup>1</sup> Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Júnior (CNPq) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira Paraná, Brasil. E-mail: holanda@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes 4698775976586168.

<sup>2</sup> Docente no Departamento Acadêmico de Elétrica - Medianeira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: filipemarangoni@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0637440868208985

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira Paraná, Brasil. E-mail: libaldenascimento@hotmail.com. ID Lattes: 7969680985613360.

<sup>4</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira Paraná, Brasil. E-mail: robertorovani@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3548310821597211.

<sup>5</sup> Docente no Departamento Acadêmico de Elétrica - Medianeira. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: eakonopatzki@utfpr.edu.br. ID Lattes: 2271391188375487 4

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste trabalho foi a construção de um encoder de baixo custo para ser instalado em micro-aerogeradores de 500 W. Os objetivos específicos desta pesquisa incluíram: 1) a montagem e a programação de um Encoder tipo incremental para leitura da velocidade variável de um motor CC de 60 W, a partir de um sensor óptico tipo fim-de-curso, com estruturas de montagem e fixação feitas na impressora 3D do Laboratório de Hardware e na CNC laser do laboratório LAPROMAD, ambos localizados na UTFPR-MD; 2) A montagem de uma placa para aquisição de dados; 3) A programação do microcontrolador, realizada em C++ e implementada em uma plataforma de desenvolvimento com microcontrolador Arduino modelo Uno; 4) A validação experimental do encoder construído foi realizada com um tacômetro óptico marca Politerm, modelo POL-19 pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da UTFPR-MD.

Os sensores ópticos são comumente utilizados na maioria dos dispositivos de controle de máquinas e na automação industrial, por serem dispositivos sem contato mecânico, com pouco desgaste e poucas falhas. Sendo ideais para o ambiente industrial.

O Encoder é um sensor eletrônico que converte movimentos lineares ou rotacionais em pulsos elétricos, fornecendo dados de posição e velocidade. Ele é usado geralmente para determinar a velocidade de rotação de máquinas e motores, servomotores e/ou motores de passo.

Existem dois modelos de encoder: os incrementais e os absolutos. O encoder absoluto é mais utilizado para a leitura de posição, já o encoder incremental é utilizado somente para ler velocidade pois, ele não fornece dados de posições.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO ENCODER INCREMENTAL

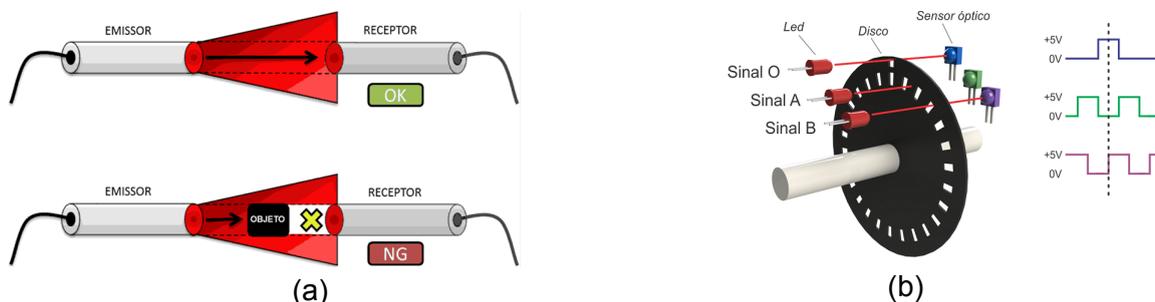
O encoder incremental tem como objetivo contar o número de pulsos gerados a partir de cada excitação. Essa excitação pode ser diferente dependendo do tipo de sensor utilizado, por exemplo: um sensor de efeito hall é excitado conforme o receptor passa por um ímã; já um sensor óptico é excitado toda vez que um feixe de luz incide em seu receptor, como pode ser observado na Figura 1 (a). Nota-se que, todo sensor incremental tem o mesmo objetivo, porém, cada modelo corresponde a um sinal diferente.

Quando o encoder é utilizado, o sistema eletrônico externo realiza a contagem de pulsos, conseguindo informar a quantidade de rotações, distância e a posição, sendo que a posição é encontrada com o auxílio de uma interface que interpreta o sinal recebido (CRAVO, 2023) (SILVEIRA, 2017).

A Figura 1(b) mostra os componentes fundamentais de um encoder rotatório, que é formado por um emissor e um receptor (que dependerão do respectivo modelo do encoder trabalhado) e um disco que pode ser construído de vidro, metal ou plástico.

O disco é acoplado a um eixo rotativo e possui padrões formados por ranhuras transparentes à luz. Conforme o disco gira, a luz do emissor passa pelas ranhuras. Esse movimento gera pulsos de ondas quadradas no receptor, que podem ser interpretadas como posição ou movimento.

Figura 1 – (a) funcionamento dos sensores ópticos (b) componentes fundamentais de um encoder



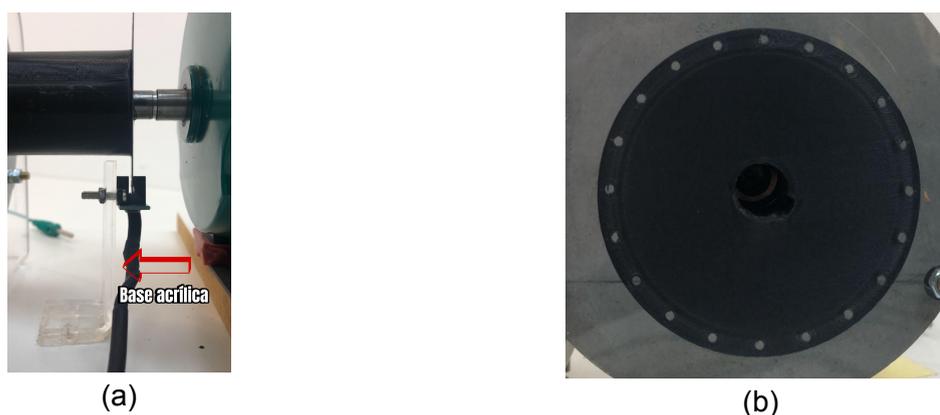
Fonte: hitecnologia (2023) e citisystems (2023)

## 2.2 ENCODER ÓPTICO

O encoder óptico utilizado neste projeto foi construído a partir de um sensor de fim de curso. A tecnologia de detecção do encoder utilizado é composta por um LED e um fototransistor. Quando um dente de uma engrenagem, um ressalto ou ainda uma peça interrompe o feixe de luz que incide no sensor, ocorre uma variação de sua condição de condução e a produção de um pulso de saída (BRAGA, 2023).

Para dar suporte ao encoder foi construída uma base acrílica no formato L conforme apresentado na Figura 2(a). O disco foi projetado para ser instalado entre o LED (transmissor) e o fototransistor (receptor), fixado no acoplamento do eixo do motor. Possui diâmetro 66 mm e espessura igual a 0,06 mm. No disco foram realizados cortes (chamados de ranhuras) com dimensões 0,1 mm, à uma distância de 33 mm do eixo, como apresenta a Figura 2 (b).

Figura 2 – (a) Mancal (base acrílica), (b) Disco para o Encoder



Fonte: Autoria Própria

## 2.3 PLATAFORMA ARDUINO UNO

Para o monitoramento das rotações é necessário que o sensor capte os pulsos gerados e envie para o Arduino.

De acordo com Thomsen (2014), o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica muito versátil e amplamente utilizada por profissionais das mais diversas áreas.

Um dos principais objetivos do Arduino é tornar o acesso à prototipagem eletrônica mais fácil, mais barata e flexível.

## 2.4 LIQUID CRYSTAL DISPLAY (LCD)

Um display de cristal líquido, é um painel fino usado para exibir informações por via eletrônica, como texto, imagens e vídeos. Seu uso inclui monitores para computadores, televisores, painéis de instrumentos e outros dispositivos (PÉREZ, 2023).

Nesse projeto foi utilizado um LCD 16X2, com HD44780. A Figura 3 demonstra o LCD conectado ao Arduino no protótipo construído.

## 2.5 METODOLOGIA E PROCEDIMENTO CIENTÍFICO

A calibração do Encoder foi realizada com 6 ensaios com 6 repetições (cada) para análise da resolução, da precisão e da repetibilidade na aquisição de dados. Os resultados foram tratados por estatística descritiva incluindo: média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação, além da curtose e assimetria.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resultados dos ensaios**

	<i>Ensaio 1</i>	<i>Ensaio 2</i>	<i>Ensaio 3</i>	<i>Ensaio 4</i>	<i>Ensaio 5</i>	<i>Ensaio 6</i>	<i>RESULTADO</i>
<b>Repetição 1</b>	252,00	288,00	278,00	272,00	284,00	272,00	<b>273,28</b>
<b>Repetição 2</b>	252,00	291,00	278,00	275,00	281,00	278,00	
<b>Repetição 3</b>	252,00	284,00	278,00	272,00	275,00	268,00	
<b>Repetição 4</b>	256,00	288,00	272,00	278,00	278,00	278,00	
<b>Repetição 5</b>	256,00	288,00	275,00	272,00	272,00	268,00	
<b>Repetição 6</b>	256,00	284,00	272,00	268,00	275,00	272,00	
<b>Rotação Média (Hz)</b>	254,00	287,17	275,50	272,83	277,50	272,67	
<b>Erro padrão</b>	0,89	1,11	1,20	1,38	1,80	1,84	<b>1,37</b>
<b>Mediana (Hz)</b>	254,00	288,00	276,50	272,00	276,50	272,00	<b>273,17</b>
<b>Moda (Hz)</b>	252,00	288,00	278,00	272,00	275,00	272,00	<b>272,83</b>
<b>Desvio padrão (Hz)</b>	2,19	2,71	2,95	3,37	4,42	4,50	<b>3,36</b>
<b>Variância da amostra</b>	4,80	7,37	8,70	11,37	19,50	20,27	<b>12,00</b>
<b>Curtose</b>	-3,33	-0,85	-2,39	0,69	-0,86	-1,88	<b>-1,44</b>
<b>Assimetria</b>	$-6,6 \cdot 10^{-17}$	$-8,2 \cdot 10^{-02}$	$-4,6 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$4, \cdot 10^{-1}$	$3,3 \cdot 10^{-1}$	<b>0,08</b>
<b>Intervalo</b>	4,00	7,00	6,00	10,00	12,00	10,00	<b>8,17</b>
<b>Rotação mínima (Hz)</b>	252,00	284,00	272,00	268,00	272,00	268,00	<b>269,33</b>
<b>Rotação máxima (Hz)</b>	256,00	291,00	278,00	278,00	284,00	278,00	<b>277,50</b>
<b>Coeficiente de variação</b>	0,86	0,95	1,07	1,24	1,59	1,65	<b>1,23</b>

Fonte: Autoria Própria

Os resultados demonstraram que a distribuição é normal simétrica (sendo  $7,8 \cdot 10^{-2} < 1,0$ ) e a curtose de -1,44 Hz denota uma distribuição levemente platicúrtica, uma característica de dados amostrais menos concentrados.

O encoder foi calibrado quanto à sua resolução, precisão e repetibilidade do sistema de aquisição de dados. Esses fatores são necessários para especificar corretamente a confiabilidade dos dados obtidos pelo mesmo.

A resolução de um encoder refere-se a menor unidade de medida que ele pode detectar. Ela está relacionada ao número de pulsos elétricos. Neste projeto a resolução

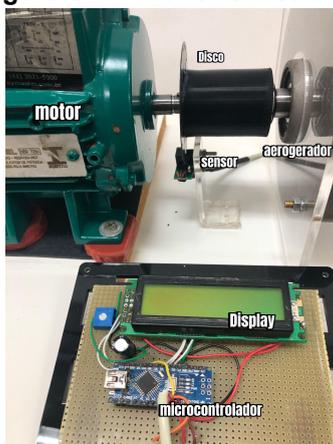
do encoder foi determinada como 20 pulsos/volta (relacionada à quantidade de ranhuras no disco utilizado). Valor equivalente a  $18^\circ$ . Essa resolução associada à rotação do motor ( $n = 3600 \text{ rpm}$ ) no qual se pretende instalar o encoder implica taxa de resolução (para a aquisição de dados) de 1,2 kHz.

A precisão indica a capacidade do encoder de fornecer leituras consistentes e próximas ao valor real. A precisão é afetada por diversos fatores, como a qualidade da construção do encoder, a estabilidade do sistema de medição e desgastes do encoder. A precisão do encoder construído é de 99,36%, com erro padrão médio de 0,5%. Sugerindo realização de medições com alto grau de precisão.

A repetibilidade refere-se à capacidade do encoder de produzir resultados consistentes quando a mesma posição ou movimento é medido repetidamente. Mesmo que a precisão seja alta, a repetibilidade pode ser afetada por variações mecânicas do sistema. Para isso foram executadas várias medições de um em um segundo garantindo que todas as condições iniciais (como posição e velocidade fossem as mesmas), Foi utilizado o método de desvio padrão - que indica o grau de variação de um conjunto de elementos - com resultado de 1,59%. Demonstrando baixa variação no conjunto de dados obtidos e confirmando alta repetibilidade nos dados coletados.

O Encoder foi desenvolvido no Laboratório LEFAPE da UTFPR-MD, e teve sua aparência de protótipo apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Encoder construído



Fonte: Autoria Própria

## CONCLUSÃO

Este projeto demonstrou a construção e configuração de um encoder óptico com a utilização de um Arduino Uno para medição de rotação. Ao longo deste trabalho, foram abordados os princípios fundamentais dos encoders ópticos, desde sua estrutura até a programação do Arduino para coletar e processar os dados de rotação.

Os testes experimentais realizados validaram a funcionalidade do encoder, destacando sua capacidade de medição precisa e confiável das rotações do motor. O erro médio de apenas 7 RPM entre as leituras do encoder e um tacômetro óptico de referência demonstra a eficácia do sistema proposto.

Este encoder óptico tem potencial para uma ampla gama de aplicações em sistemas industriais, onde medições precisas de rotação são essenciais para o controle de máquinas e processos. Sua construção acessível e configuração simplificada o tornam

uma solução viável para empresas e laboratórios que buscam melhorar o desempenho e a eficiência de seus sistemas.

Como sugestões de trabalhos futuros poderiam ser consideradas: a construção de um encoder com a utilização de outros tipos de transmissor e receptor; a alteração no disco com a utilização de ranhuras para a identificação da posição; a implementação de uma função no código de programação, para que seja possível registrar o histórico das medições da rotação; a utilização do encoder para medir a velocidade de rotação de um micro-aerogerador eólico.

## Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio de natureza financeira, além dos colegas do Laboratório de eficiência, fontes alternativas e processamento de energia (LEFAPE) da UTFPR-MD pelo companheirismo.

## Conflito de interesse

Não há conflitos de interesses

## REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton. **Como funcionam os sensores ópticos.**

<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/7841-como-funcionam-os-sensores-opticos-art1051>. Acesso em: 15 set. 2023.

CRAVO, Edilson. **Arduino: o que é, para que serve, como funciona e tipos.** 2023.

Disponível em: [//blog.kalatec.com.br/arduino-o-que-e/](http://blog.kalatec.com.br/arduino-o-que-e/). Acesso em: 15 set. 2023.

LIMA, Gustavo Fernandes et al. **Construção de um Tacômetro Magnético e Monitoramento de Rotações Utilizando Arduino.** HOLOS, v.1, p. 1-12, 2021

PÉREZ, Alfonso. **Práticas e código de exemplo para display de cristal líquido ou LCD com Arduino Uno - Parte 1.** Instituto Newton C. Braga,

<https://www.newtoncbraga.com.br/microcontroladores/138-atmel/15165-praticas-e-codigo-de-exemplo-para-display-de-cristal-liquido-ou-lcd-com-arduino-uno-parte-1-mic174.html>. Acesso em: 15 set. 2023.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Sensor Óptico: Como Funciona?** 2017. Disponível em:

<https://www.citisystems.com.br/sensor-optico/>. Acesso em: 15 set. 2023.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino, para que serve e primeiros passos [2023]**». MakerHero, 2 de setembro de 2014, <https://www.makerhero.com/blog/o-que-e-arduino/>.

VIEIRA, Caroline. **O que é Encoder? Para que serve? Como escolher? Como interfacear?**

2017. Disponível em:

<https://www.hitecnologia.com.br/o-que-e-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>. Acesso em: 15 set. 2023.