

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### PROJETO DE UM ENCODER ÓPTICO ABSOLUTO PARA FINS DIDÁTICOS E DE PESQUISA

RAMON OLIVEIRA ANTONIO<sup>1</sup>, CLAUDINER MENDES DE SEIXAS<sup>2</sup>, DANILO BASSETO DO VALLE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Votuporanga, ramon.antonio@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Elétrica e professor no IFSP - Campus Votuporanga, claudiner@ifsp.edu.br.

<sup>3</sup>Doutor em Engenharia Elétrica e professor no IFSP - Campus Votuporanga, danilo.valle@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.03-4 Instrumentação Eletromecânica

**RESUMO:** A medição precisa de posição e velocidade é fundamental em sistemas de controle de movimento, sendo amplamente utilizada em áreas como automação e robótica. Encoders ópticos têm se destacado pela sua confiabilidade e precisão nesses contextos. No entanto, há uma carência de ferramentas didáticas acessíveis para o ensino de conceitos de controle de movimento. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um *encoder* óptico absoluto para fins didáticos, com o objetivo de oferecer uma plataforma de baixo custo para o ensino de tópicos como código Gray, estabilização de sinais e integração com microcontroladores. O sistema foi construído utilizando um disco de fendas impresso em 3D, codificado em código Gray, além de um LED emissor infravermelho, um fototransistor receptor e um disparador Schmitt implementado com o CI NE555. A placa Arduino Uno, programada em C++, foi usada para o processamento dos dados. Os resultados demonstraram que o protótipo foi eficiente na estabilização dos sinais, permitindo medições precisas da posição angular, onde o disparador Schmitt foi essencial para garantir a confiabilidade dos dados. O projeto se mostrou uma ferramenta eficaz e flexível para o ensino de sistemas de controle de movimento, podendo ser facilmente adaptado para diferentes finalidades educacionais e de pesquisa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arduino Uno; Código Gray; Disparador Schmitt; *Encoder* óptico; Sistemas de controle.

### DESIGN OF AN ABSOLUTE OPTICAL ENCODER FOR TEACHING AND RESEARCH PURPOSES

**ABSTRACT:** Accurate position and velocity measurement is fundamental in motion control systems and is widely used in areas such as automation and robotics. Optical encoders have stood out for their reliability and precision in these contexts. However, there is a lack of accessible didactic tools for teaching motion control concepts. This paper proposes the development of an absolute optical encoder for educational purposes, aiming to provide a low-cost platform for teaching topics such as Gray code, signal stabilization, and integration with microcontrollers. The system was built using a 3D-printed slotted disc, encoded with Gray code, as well as an infrared LED emitter, a phototransistor receiver,

and a Schmitt trigger implemented with the NE555 IC. The Arduino Uno board, programmed in C++, was used for data processing. The results showed that the prototype was efficient in stabilizing the signals, allowing for precise angular position measurements, and that the Schmitt trigger was essential to ensure the reliability of the data. The project proved to be an effective and flexible tool for teaching motion control systems, and it can be easily adapted for different educational and research purposes.

**KEYWORDS:** Arduino Uno; Control systems; Gray Code; Optical encoder; Schmitt Trigger.

## INTRODUÇÃO

*Encoders* ópticos são dispositivos que medem a posição e a velocidade relativa de objetos, amplamente utilizados em indústrias como automotiva, aeronáutica e espacial. De acordo com Paredes et al. (2021), eles são essenciais em aplicações de controle de movimento, como elevadores, mecanismos de apontamento e servomotores (PAREDES; HERROJO; MARTÍN, 2021). Esses dispositivos consistem geralmente em um LED, um disco de fenda graduado e um fotodetector, que mede a posição ao detectar a luz que passa pelo disco (MATSUZOE; TSUJI, 2001).

Existem dois tipos principais: incrementais, que fornecem pulsos proporcionais ao movimento e precisam ser acumulados para determinar a posição (LEE; CHOI; BANG, 2016); e absolutos, que indicam a posição exata sem necessidade de referenciamento adicional, sendo úteis em casos de quedas de energia (WANG et al., 2015). Os encoders absolutos usam o código Gray, que altera apenas um bit por vez, minimizando erros durante a transição de posições (DZIWIŃSKI, 2015). Ainda Segundo Dziwiński (2015), isso aumenta a confiabilidade, reduzindo desvios na leitura.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um *encoder* óptico absoluto para fins didáticos, devido à necessidade de ferramentas acessíveis para compreender seu funcionamento em sistemas de alta precisão. A proposta visa facilitar o aprendizado de conceitos como resposta de posição e uso do código Gray, permitindo uma melhor compreensão dos princípios de controle de movimento em ambientes educacionais e industriais. Esse projeto tem como objetivos específicos projetar um encoder óptico absoluto com código Gray para minimizar erros de transição, demonstrar o *feedback* de posição em controle de movimento óptico e validar seu uso em aplicações de precisão, como servomotores e mecanismos de apontamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido inicialmente como uma revisão bibliográfica, e posteriormente, como um experimento.

O primeiro passo para a elaboração do projeto foi a definição do método de coleta e processamento dos dados transmitidos. Para isso, foi utilizada a placa Arduino Uno. A programação da plataforma foi realizada utilizando a linguagem C++, amplamente empregada em sistemas embarcados pela sua eficiência e flexibilidade. O programa consiste na recepção dos dados dos receptores, conversão do código Gray em binário, e depois o código binário na posição angular correspondente. Após todos esses processos, o código deve mostrar a posição angular medida pelo dispositivo.

Após a definição da plataforma de trabalho, iniciou-se o processo de produção do disco de fendas, codificado em código Gray. O disco foi projetado com o auxílio do *software* Inventor, da empresa *AutoDesk*, e fabricado por meio de impressão 3D, em ABS. A resolução do disco, ou seja, a sua capacidade de medir uma mudança de angulação, é calculada pela equação 1, encontrada ao dividir

o número de graus de uma revolução completa pela quantidade de *bits* utilizados. Essa fórmula foi pensada pelos autores seguindo a descrição acima, ou seja, dividindo a angulação total ( $360^\circ$ ) da circunferência pela quantidade de sensores, *bits*, a serem utilizados.

$$R = \frac{360^\circ}{2^N} \quad (1)$$

em que, R é a resolução do *encoder* e N é o número de *bits* do disco de fendas.

O projeto do disco de fendas pode ser visto na Figura 1.

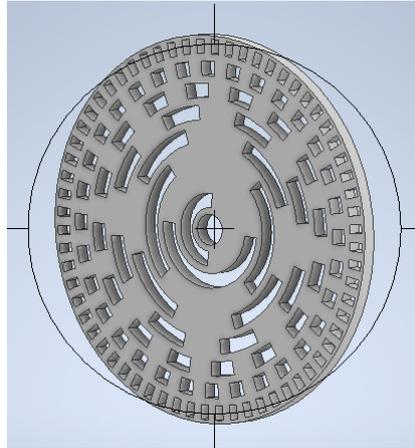


Figura 1: Projeto do disco de fendas de 8 *bits* (Os autores, 2024)

Além disso, foi necessário projetar o sistema de emissão e recepção de dados. Para isso, foi implementado um circuito composto por um LED emissor de infravermelho e um fototransistor como receptor. A disposição dos itens está descrita na Figura 2.

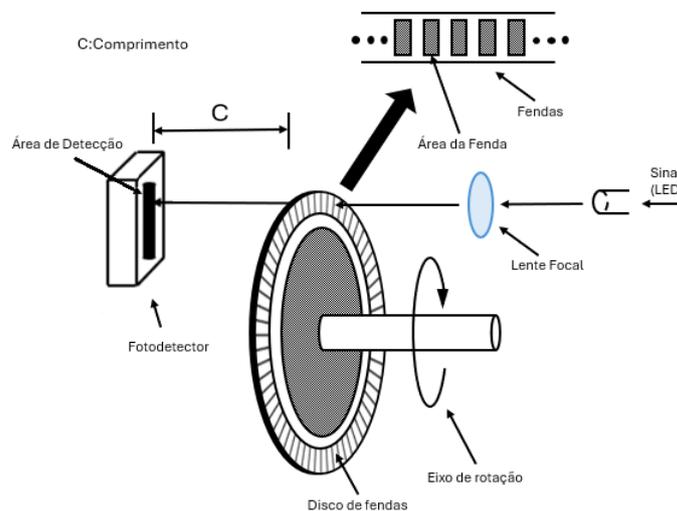


Figura 2: Sistema de funcionamento do *encoder* (Adaptada de MATSUZOE; TSUJI, 2001)

No entanto, devido à instabilidade dos sinais gerados pelo fototransistor, especialmente em condições de variação de intensidade de luz ou ruído elétrico, tornou-se necessário o uso de um disparador Schmitt para garantir a confiabilidade dos dados recebidos. Esse componente foi escolhido devido à sua capacidade de eliminar flutuações e oscilações indesejadas, garantindo transições bem definidas entre os níveis lógicos "alto" e "baixo". Esse dispositivo foi utilizado pelos autores por ter um funcionamento extremamente semelhante ao componente LM393, comumente utilizado na decodificação de

sinais infravermelhos.

O disparador Schmitt foi implementado com o auxílio do circuito integrado NE555, que atua como um comparador de tensão com histerese, capaz de converter o sinal analógico instável do fototransistor em um sinal digital limpo. Assim, o componente foi fundamental para estabilizar os dados antes de enviá-los à placa Arduino Uno para processamento, assegurando a integridade e a precisão da transmissão de dados. A Figura 3 descreve o circuito projetado, mostrando a disposição do emissor e do receptor, bem com a ligação do C.I. NE555 para atuar como um disparador Schmitt.

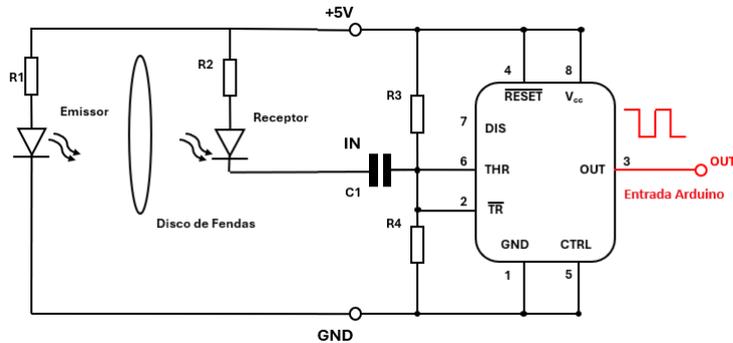


Figura 3: Esquema do circuito utilizado (Os autores, 2024)

Dessa forma, foi possível o desenvolvimento apropriado do projeto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi testado o funcionamento do sistema emissor/receptor. Os testes do circuito demonstraram uma instabilidade no sistema de detecção de sinais. Para corrigir isso, foi necessária a implementação do circuito disparador Schmitt, capaz de garantir transições bem definidas entre os níveis lógicos, o que estabilizou a transmissão de dados. Essa estabilização foi verificada utilizando um osciloscópio, conforme ilustrado na Figura 4, onde as formas de onda demonstram a saída limpa após a filtragem pelo circuito Schmitt. Na figura, pode-se observar um sinal oscilante (canal 1 - azul). Após a passagem pelo disparador Schmitt, vê-se que o sinal passa a ter uma transição definida entre os níveis lógicos alto e baixo. A saída do circuito é representada pela cor amarela (canal 2).

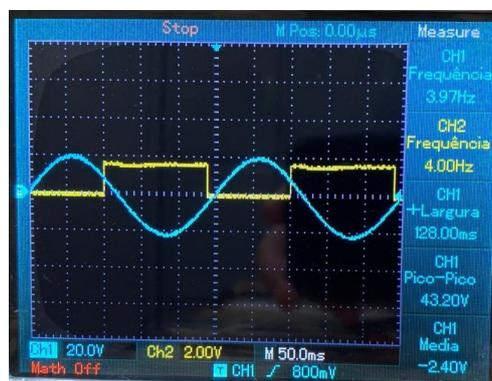


Figura 4: Leitura dos sinais sob o disparador Schmitt (Os autores, 2024)

Constatado o funcionamento do sistema receptor de sinais, realizou-se a impressão do disco codificado. Conforme o projeto, o disco é composto por 8 trilhas, ou seja, possui 8 *bits* codificados. De

acordo com a equação 1, a resolução do disco é de 1,4 graus, ou 255 passos. O resultado da impressão pode ser visto na Figura 5.



Figura 5: Disco de fendas impresso em 3D (Os autores, 2024)

Após a validação do sistema e a instalação do disco de fendas, o processamento dos dados foi testado com sucesso. O sistema foi capaz de medir com precisão a posição angular, validando a eficácia do uso do código Gray e da conversão binária. O código utilizado para a leitura e interpretação desses dados pode ser visto na Figura 6

```
25 for (int i = 0; i < numSensors; i++) {
26     int bitValue = digitalRead(sensorPins[i]); //
27     grayCode |= (bitValue << (numSensors - 1 - i));
28 }
29
30 // Converter o código Gray para binário
31 int binaryCode = grayToBinary(grayCode);
32
33 // Calcular a posição e o ângulo
34 int position = binaryCode;
35 float angle = position * angleStep;
36
37 // Mover o servo para o ângulo correspondente
38 myservo.write(angle);
39
40 // Exibir os valores no monitor serial
41 Serial.print("Gray Code: ");
42 Serial.println(grayCode, BIN);
43 Serial.print("Binary Code: ");
44 Serial.println(binaryCode, BIN);
45 Serial.print("Position: ");
46 Serial.println(position);
47 Serial.print("Angle: ");
48 Serial.println(angle);
```

Figura 6: Código para interpretação dos dados (Os autores, 2024)

Nesse código, é possível visualizar o processo de leitura do código (linhas 25, 26, 27 e 28), bem como a conversão do código binário em uma posição angular (linhas 34 e 35) e a apresentação dos resultados medidos (linhas 41 à 49). Na Figura 7, é possível ver o resultado de uma leitura do *encoder*. Na primeira linha, tem-se o código lido em Gray, na segunda linha, vê-se sua conversão para binário, na terceira linha, observa-se a posição correspondente em números, e na última linha a posição em graus

```
Gray Code: 1001
Binary Code: 1101
Position: 13
Angle: 75.48
```

Figura 7: Código para conversão de Gray para binário (Os autores, 2024)

Através dos resultados obtidos, a confecção do protótipo didático se mostrou possível. O projeto

mostrou-se também bastante customizável, podendo adaptar-se à necessidade do docente ou do discente que fará uso do dispositivo. A velocidade de transmissão, a resolução do *encoder* e a programação para aquisição dos resultados são exemplos dos parâmetros que podem ser mudados de acordo com o experimento ou aula que se deseja realizar.

## CONCLUSÕES

O protótipo de encoder óptico absoluto desenvolvido cumpriu seu objetivo de fornecer uma ferramenta prática e eficaz para o ensino de conceitos relacionados a controle de movimento e sistemas embarcados. A integração entre o sistema de detecção baseado em infravermelho, o disparador Schmitt e o processamento com Arduino Uno resultou em um dispositivo confiável e de fácil entendimento para estudantes. O uso do código Gray demonstrou ser eficaz na minimização de erros, e o projeto oferece um excelente ponto de partida para futuras pesquisas e aprimoramentos.

Espera-se que este sistema possa ser utilizado em sala de aula para demonstrar a aplicação de tecnologias modernas em sistemas industriais, além de servir como base para futuros desenvolvimentos, como o aumento da resolução e a implementação de novos sensores.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Ramon Oliveira Antonio, Danilo Basseto do Valle. e Claudiner Mendes de Seixas contribuíram com a elaboração e concepção do projeto. Ramon Oliveira Antonio realizou a pesquisa, o desenvolvimento e a montagem do protótipo. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSP – Campus Votuporanga por fornecer a estrutura adequada para o desenvolvimento do projeto e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do IFSP pelo financiamento e bolsa do aluno.

## REFERÊNCIAS

DZIWIŃSKI, T. A novel approach of an absolute encoder coding pattern. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 1, p. 397–401, 2015.

LEE, K. min; CHOI, J.; BANG, Y. bong. Shaft position measurement using dual absolute encoders. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 238, p. 276–281, 2016. ISSN 0924-4247. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424715302776>>.

MATSUZOE, Y.; TSUJI, N. Breadboard system and techniques to optimize the optical system of an encoder. **Optical Engineering**, v. 40, p. 283–288, fev. 2001.

PAREDES, F.; HERROJO, C.; MARTÍN, F. Position sensors for industrial applications based on electromagnetic encoders. **Sensors**, v. 21, n. 8, 2021. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2738>>.

WANG, H. et al. Absolute optical imaging position encoder. **Measurement**, v. 67, p. 42–50, 2015. ISSN 0263-2241. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322411500086X>>.