

# Brinquedo Optico de LED ??

Carla Cristina Wiselowski \* Mario Aguayo Alderete \*\*  
Matias Reis da Silva \*\*\*

\* Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR),  
(e-mail:carlawiselowski@alunos.utfpr.edu.br).

\*\* Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR), (e-mail:alderete@alunos.utfpr.edu.br).

\*\*\* Faculdade de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR), (e-mail:matiasreis@alunos.utfpr.edu.br).

---

**Abstract:** The work develops an optical LED toy for educational purposes, capable of displaying supporting images through optics, rotational mechanical movement and LED technology. A solid wooden board is used as the base, along with a vertical support to enable a stable system, with a hole for the axis of rotation, where a brushless motor fits in with a rotation speed calibrated by an optical encoder and controlled by an ESC along with an Arduino; they are powered by a power supply. A 3D printing model serves as a ring to ensure the alignment of the RGB LED strip at the moment of rotation, being controlled by an ESP32 development board via Bluetooth, both powered by a battery that is connected to the ring.

**Resumo:** O trabalho desenvolve um brinquedo óptico de LED para fins educacionais, capaz de exibir imagens de apoio através da óptica, movimento mecânico rotacional e tecnologia dos LEDs. Uma placa de madeira maciça é usada como base, juntamente com um braço para possibilitar um sistema estável, com um orifício para o eixo de rotação, onde se encaixa um motor brushless com uma velocidade de rotação calibrada por um Encoder óptico e controlada por um ESC junto com um Arduino; sendo alimentados por uma fonte de energia. Um modelo de impressão 3D serve como anel para garantir o alinhamento da fita LED RGB no momento da rotação, sendo controlados por uma placa de desenvolvimento ESP32 via Bluetooth, ambos alimentados com uma bateria que é conectada ao anel.

**Keywords:** LED globe; LED technology; Lighting applications.

**Palavras-chaves:** Globo de LED; Tecnologia LED; Aplicações de iluminação.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O campo acadêmico e educacional desempenha um papel de extrema importância na estrutura social, pois está intrinsecamente ligado à formação de profissionais capazes de contribuir de maneira positiva para a comunidade. Além disso, esses profissionais devem manter-se em constante aprendizado, tanto os professores quanto os alunos se beneficiam da utilização de diversas ferramentas e tecnologias para otimizar seus resultados. Dessa forma, eles se tornam aptos a absorver e transmitir conhecimento de maneira eficaz.

Nos dias atuais, é comum empregar tecnologias disponíveis que viabilizam a apresentação de informações de forma rápida e organizada. Um exemplo disso é o projetor, que possibilita a exibição de imagens contendo informações sobre um conteúdo específico a ser transmitido. Com a tecnologia LED, tornou-se possível implementar diversas aplicações e métodos de iluminação, contribuindo para uma eficiência energética superior, juntamente com uma sustentabilidade notável e um controle mais preciso da intensidade.

Os LEDs também são comumente encontrados em tiras, geralmente utilizadas para iluminar ambientes de maneira discreta e de fácil implementação. Outra aplicação amplamente explorada é a iluminação dinâmica dessas tiras, por meio do movimento, o que resulta na produção de imagens ou efeitos ópticos. Esses dispositivos são conhecidos como globos de LED.

O trabalho apresentado descreve o desenvolvimento de um brinquedo óptico fundamentado no conceito de globo de LED. Tal dispositivo se baseia no entendimento e aplicação da óptica de LED, aliados à interação da parte mecânica rotacional do hardware com os microcontroladores e o software. Notavelmente, o usuário tem a capacidade de controlar o dispositivo via Bluetooth, transformando-o em uma ferramenta educacional criativa para apoiar o conteúdo acadêmico dos alunos. Essa abordagem visa tornar as aulas mais interessantes e interativas, enriquecendo a experiência educacional.

O artigo, de maneira organizada, detalha não apenas o projeto proposto, mas também abrange os trabalhos relacionados a ele, a metodologia adotada para a construção do dispositivo, os resultados quantitativos e qualitativos

obtidos e, por fim, as discussões e conclusões derivadas do desenvolvimento desse inovador instrumento educacional.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

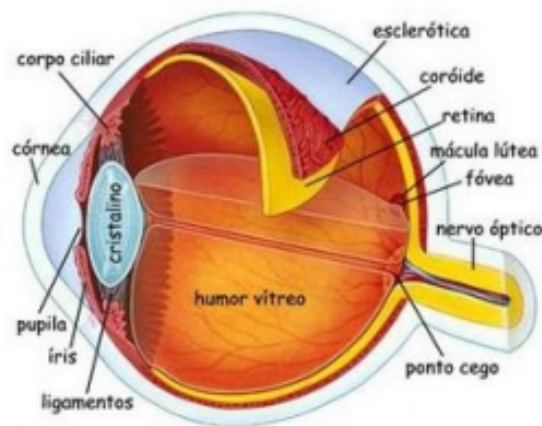
Frequentemente, são utilizados diferentes materiais de apoio para ajudar no campo educacional, sendo um comportamento bem habitual entre estudantes, monitores e professores de todos os níveis acadêmicos. Também, são organizados eventos que promovem a experimentação e inclusão de novos métodos que ajudem na transmissão do conhecimento. Segundo Marranghello, Luchesse e Hartmann (2020, p. 825), "Para os organizadores, foi um desafio planejar e construir estações que pudessem ilustrar fenômenos ópticos e, ao mesmo tempo, serem atrativas para crianças de 4 a 6 anos. Para as professoras, foi um complemento de sua formação profissional e um incentivo para que trabalhem com Ciências com crianças que ainda não leem e escrevem, mas que são capazes de expressar o que compreendem em situações de aprendizagem. Para os monitores, alunos de cursos de graduação, foi um desafio tornar simples explicações sobre conceitos aprendidos por meio de definições formais. Vários deles afirmaram ter que parar para pensar 'como explico isso para uma criança tão pequena?' Esse exercício de explicar o, aparentemente, complicado de forma simples fez a todos (professores e monitores) repensar o quanto a ciência pode ser atrativa e desafiante.

O encantamento e a alegria das crianças durante a visita à exposição compensaram amplamente todo o trabalho, deixando, aos responsáveis pela sua realização, a certeza de que é possível tornar o conhecimento científico acessível para qualquer pessoa, de acordo com o seu nível de compreensão. A curiosidade das crianças é o elemento mais importante a ser explorado durante uma exposição interativa, pois mantém as crianças atentas e receptivas ao que lhes desafia a imaginação". Além disso, o uso de fenômenos ópticos também pode ser usado como material de apoio e de ajuda para transmitir efetivamente o conteúdo de algum tema específico de forma clara e precisa, sem deixar de ser uma ferramenta criativa.

Existem diferentes aplicações encontradas desses fenômenos, em aparelhos e brinquedos ópticos como, por exemplo, o zootrópio que combina arte e ciência, impactando na sociedade desde o século XIX junto à revolução industrial (Miara, 2017), sendo que percebemos esses fenômenos visualmente: "Arnheim (1956) explica que a percepção visual não ocorre somente pela reprodução da projeção da imagem, mas também nos olhos, especificamente pela retina, pois ela é responsável pela identificação das imagens que se formam com os raios de luz. A representação visual é interpretada pelo cérebro através do brilho, diferentes cores e contornos que são ajustados com pequenos pontos, que se unem para formar, direcionar e movimentar uma imagem. Para entender este processo, precisamos entender a função de cada parte dos olhos, como demonstra a [Figura 1]. Destacamos algumas partes dos olhos, como a íris que determina a cor (exemplo: azuis, pretos, verdes), no meio do globo ocular vem a pupila e atrás dela fica localizado o cristalino, este que informa o foco que localiza o distanciamento de um objeto (perto ou longe), o nervo óptico é responsável por levar as informações das

imagens para que o cérebro entenda e as defina. A projeção sequencial da imagem, segundo Burns (2010), revela que o movimento giratório desloca-se e muda de acordo com o ângulo do olhar entre observador e objeto"(Miara, 2017, p. 31-32).

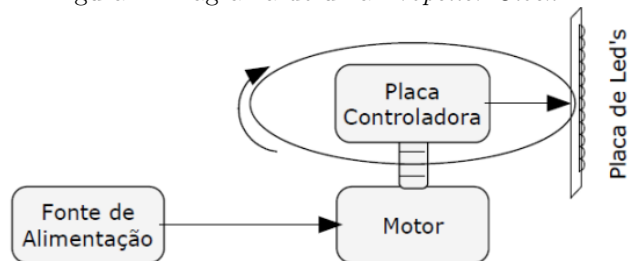
Figura 1. Olho Humano



Fonte: (Miara, 2017)

Na atualidade, são usadas ferramentas mais inovadoras com tecnologia de LED (*Light Emitting Diode*) RGB (*Red-Green-Blue*) que possuem uma boa efetividade, fácil implementação e onde um único encapsulamento existem três junções que, sendo energizadas, produzem cores como vermelho, verde, azul e outras combinações regulando a intensidade individual do brilho através do PWM (*Pulse-Width-Modulation*) de um microcontrolador; também a holografia com uma reconstrução luminosa de um objeto em três dimensões e o *Propeller Clocks* que atua como um display com rotação mecânica onde prende-se uma linha de LEDs a uma haste que gira em torno de um eixo piscando de forma controlada como se pode ver na [Figura 2], o exemplo mais comum são os globos de LEDs que são *Propeller's Clocks* em formato esférico (LIEBERKNECHT, 2015).

Figura 2. Diagrama de uma *Propeller Clock*



Fonte: (LIEBERKNECHT, 2015)

Com base nos projetos anteriores, o trabalho pretende desenvolver um globo de LEDs funcional que faça uso dos fenômenos ópticos que atuam na visão humana para que sirva como ferramenta e material de apoio no campo educacional. Visto que isso não seja suficiente para captar completamente a atenção dos estudantes, foi feita uma implementação mais interativa e criativa; apresentando um sistema que envolva o movimento mecânico de rotação de um motor brushless no eixo controlado por um Arduino UNO e o controle de LEDs através do microcontrolador

ESP32 que faz a conexão entre os LEDs e o usuário via Bluetooth. Tanto o motor brushless e o Arduino UNO quanto os LEDs e o ESP32 são energizados por fontes de poder diferentes.

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente, foi fabricada uma gaiola cúbica de madeira com aresta de aproximadamente 100 mm, configurada como uma base robusta como mostra a [Figura 3] para sustentar o movimento do dispositivo experimental. Um furo foi meticulosamente posicionado na porção inferior para a inserção de um motor brushless com dimensões de 35x30 mm como mostra a [Figura 4], enquanto outro furo foi estrategicamente criado na porção superior para afixar um rolamento de dimensões 10x35x11, acompanhado por uma haste de 5-8 mm. Utilizando a tecnologia de impressão 3D, foram confeccionados um suporte para o rolamento e um modelo de 15 cm do anel de LEDs, que seriam posteriormente fixados durante o movimento, apresentando dois furos concebidos para o encaixe da haste. Adicionalmente, ímãs foram dispostos na parte superior da gaiola em torno do eixo para o controle dos LEDs, empregando sensores Hall.

Figura 3. Gaiola cúbica de madeira



Fonte: (Autor)

Figura 4. Furo feito na gaiola cúbica de madeira



Fonte: (Autor)

O motor brushless foi alimentado por uma fonte de energia de 12V e 5A, operando com o auxílio de um controlador

eletrônico de velocidade ESC (*Electronic Speed Controller*) que aciona as bobinas do motor através de uma sequência binária predefinida em seu firmware. O controle preciso da velocidade foi viabilizado por meio de um sinal PWM, gerado com o apoio de um Arduino UNO. Para aprimorar a precisão no controle de velocidade, optou-se pela integração de um encoder óptico, incorporando um disco com 20 furos na extremidade do motor. Esse disco, durante a rotação, acoplava-se ao encoder, iniciando a contagem de pulsos de RPM (Rotações por Minuto) ao interromper o sinal infravermelho com os furos do disco. Após a análise do motor, tanto o encoder quanto o disco foram removidos para a fase final do projeto.

Figura 5. Motor com disco e acoplamento flexível



Fonte: (Autor)

Posteriormente, o motor brushless, junto aos microcontroladores e à fonte de energia, foi estrategicamente posicionado na porção inferior da gaiola, enquanto o rolamento, acompanhado de seu suporte, foi fixado na parte superior. Essa disposição foi cuidadosamente planejada para garantir que o motor estivesse centralizado nos dois furos destinados à haste. Na extremidade do motor, foi fixado um acoplamento flexível de 5-8 mm para assegurar a firmeza da haste durante a rotação, na [Figura 5] é possível ver o motor com o acoplamento flexível. Quanto ao anel de LEDs, para evitar interferências nos furos destinados à haste, procedeu-se com a separação, corte e posterior soldagem da fita, garantindo uma comunicação eficiente entre os LEDs. Com essa etapa concluída, o anel foi cuidadosamente posicionado junto à haste como mostra a [Figura 6]. Para otimizar a estabilidade, desenvolveu-se um braço reforçado que se estende da base de madeira até a extremidade da haste, prevenindo oscilações indesejadas durante o funcionamento.

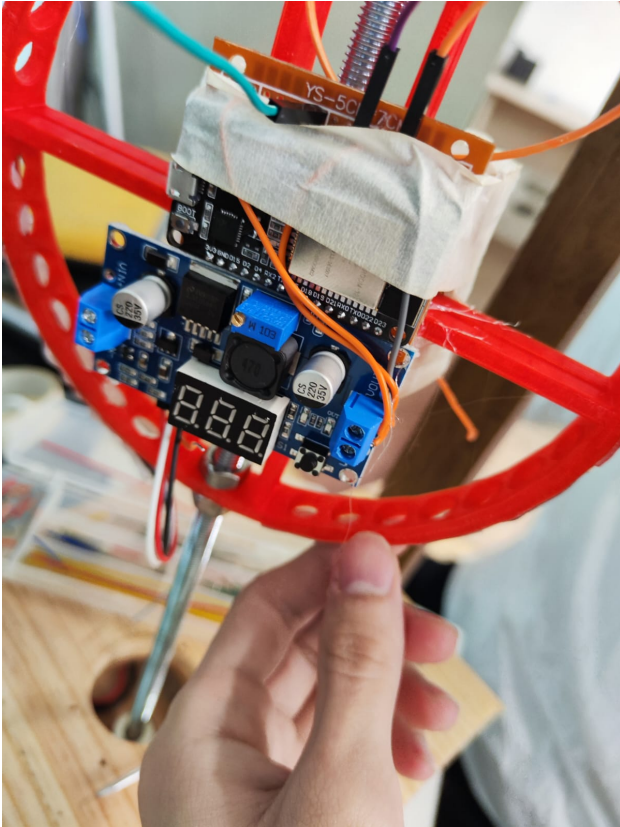


Figura 6. Anel implementado com LEDs



Fonte: (Autor)

Figura 7. Conversor 5V



Fonte: (Autor)

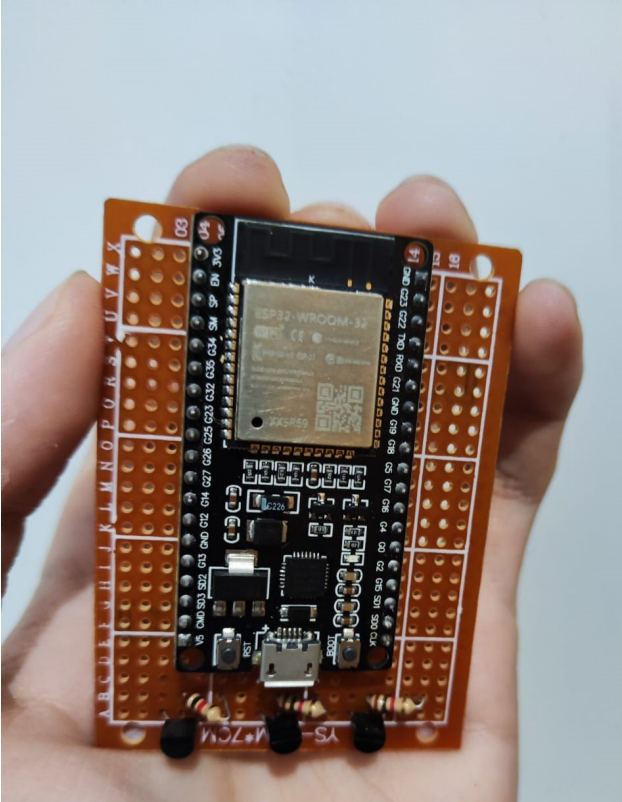
O controle dos LEDs foi confiado a um microcontrolador ESP32 que pode ser observado na [Figura 8], estrategicamente posicionado no centro do anel de LEDs, em conjunto com uma bateria de 12V responsável pela alimentação tanto dos LEDs, mediante um conversão de tensão para 5V como mostra na [Figura 7], quanto do microcontrolador.

Tabela 1. Componentes

Componente	Preço (R\$)
Madeira	30,00
Haste Roscada M8	15,00
Porcas M8	3,00
Acoplador de eixo flexível de 5mm a 8mm	21,90
Rolamento de esfera 6300 ou 10x35x11 de metal	49,90
Suporte de rolamento	-
Parafusos	12,00
Motor brushless com eixo de 5mm	155,00
ESC 60A	288,00
Arduino UNO	-
Fonte de energia 12V 5A	30,00
APA102 LED	41,25
Encoder ótico e disco	22,00
ESP32	37,00
TLE 4905L Sensor Hall + ímã	5,00
Cola	20,00
Anel de Rolamento	-
Total	730,05

O ESP32 estabelece uma conexão via Bluetooth com o usuário, oferecendo controle total sobre os LEDs. Além disso, o microcontrolador cria uma matriz que representa a projeção dos LEDs durante o movimento. Em colaboração com um sensor Hall, que monitora a rotação dos LEDs, o sistema detecta os ímãs ao redor do eixo, acionando a coluna correspondente da matriz de LEDs.

Figura 8. Microcontrolador de ESP32



Fonte: (Autor)

A elaboração do dispositivo envolveu a cuidadosa seleção e emprego de diversos materiais, visando a robustez, eficiência e confiabilidade do sistema como mostra a [Tabela 1], escolhendo o Arduino IDE como software de programação para os microcontroladores, que é gratuito.

## 4. RESULTADOS

Resultados quantitativos e qualitativos desempenham papéis fundamentais na avaliação e interpretação dos dados obtidos em experimentos científicos. No contexto do desenvolvimento de um brinquedo óptico, os resultados quantitativos referem-se às medições numéricas objetivas obtidas durante o processo experimental. Isso pode incluir parâmetros como a velocidade de certos movimentos ou características dimensionais específicas ou energética do dispositivo. Por outro lado, os resultados qualitativos referem-se a observações não numéricas, muitas vezes descritas em termos de propriedades físicas, fenômenos visuais ou características sensoriais. No caso do dispositivo, resultados qualitativos podem abranger o efeito estético gerado pela interação com o dispositivo e outras impressões subjetivas.

No desenvolvimento de um brinquedo óptico, ambos os conjuntos de resultados desempenham um papel complementar. Os dados quantitativos proporcionam uma base objetiva para análises precisas e comparações entre diferentes configurações ou versões do brinquedo. Por outro lado, os dados qualitativos enriquecem a compreensão do impacto do brinquedo na experiência do usuário, fornecendo ideias sobre aspectos perceptuais que podem não ser capturados apenas por medições numéricas.

### 4.1 Quantitativos

Com o desenvolvimento e aprimoramento do dispositivo, foram observados e obtidos diversos resultados, sendo mais específicos em relação a eficiência energética, comunicação Bluetooth, controle de velocidade e RPM. Para isso, foram utilizadas fórmulas como:

$$\text{Erro Percentual} = \frac{\text{Valor Medido} - \text{Valor Real}}{\text{Valor Real}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{RPM} = \frac{60 \times 1000}{\text{pulsos\_por\_volta}} \times \frac{\text{pulsos}}{\text{tempo\_decorrido}} \quad (2)$$

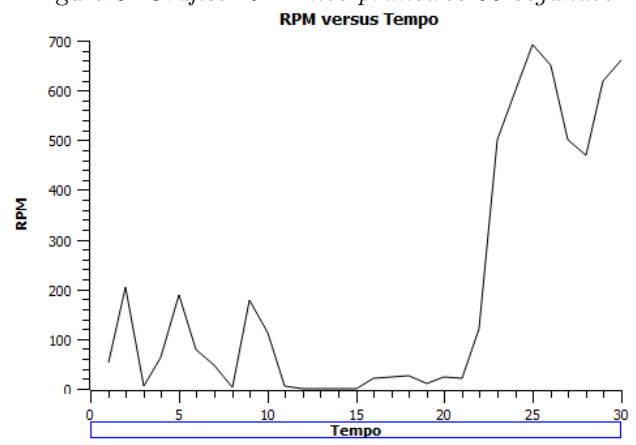
Na eficiência energética, empregou-se uma fonte de alimentação de 12V e 5A, normalmente com uma eficiência entre 70% e 90%, conforme informações de fornecedores locais. Apesar de a fonte não possuir um resfriamento ou reguladores de tensão muito sofisticados para evitar a perda de energia no calor da conversão, através da (1) pode-se observar um erro percentual de 1,67. Também foi utilizado uma bateria LiPo de 12V, com uma baixa taxa de autodescarga, e sua eficiência de descarga superior a 90%, segundo o fabricante, que utilizou um conversor de tensão de 5V. Aplicando a (1), obteve-se um erro percentual de 2. Em ambos os casos, foram alcançados resultados satisfatórios e tolerados.

Na comunicação Bluetooth, a velocidade de transmissão variou entre 125kbps a 2Mbps a uma distância de aproximadamente 5-10m, conforme os testes realizados.

Para o controle de velocidade e RPM, a medição foi realizada através do PWM do Arduino UNO, juntamente com um encoder ótico e um disco que interrompe o sinal

infravermelho. Dessa forma, foi possível contar os pulsos e, aplicando a (2), realizar a leitura y, visualizada de maneira simples e na forma inicialmente implementada pelo terminal do Arduino IDE. Na maioria dos testes, as leituras foram semelhantes. No início, o RPM variou até se estabilizar em torno de 500 e 700 RPM, o valor decidido para o trabalho, uma vez que quanto menor o RPM, menos ruído é gerado pelo motor, considerando que o barulho pode ser muito inconveniente para alguns indivíduos. Assim, foi criado um gráfico durante os primeiros 30 segundos em que o encoder começou a leitura como mostra a [Figura 9] (Uma observação relevante é que em alguns momentos o encoder pode sofrer variações bruscas, seja devido às limitações próprias do encoder em relação à potência do motor brushless ou a movimentações acidentais do ambiente em que a leitura foi feita):

Figura 9. Gráfico RPM nos primeiros 30 segundos



Fonte: (Autor)

### 4.2 Qualitativos

Em relação aos resultados qualitativos do brinquedo óptico podem ser analisados de forma crítica e objetiva diferentes pontos do mesmo. Primeiramente a base de madeira que, considerando que foi escolhida como um material robusto e de baixo custo para estabilizar o dispositivos durante a rotação, foi preciso a construção de um braço reforçado do mesmo material para melhorar sua estabilidade mas mesmo assim não foi obtida a estabilidade desejada durante a rotação do motor, também o rolamento onde o eixo vai encaixado não é de muita ajuda para estabilizar ele, ainda estando parafusado a base; o rolamento provoca um movimento que prejudica na estabilidade. Ainda assim, o brinquedo óptico apresenta mínimas condições de estabilidade durante o movimento. Depois, como foi dito da fonte de energia 12V e 5A que mostra a [Figura 10], não possui um sistema de refrigeração e conversor de tensão muito sofisticado para evitar a perda de energia no calor da conversão, mas as fontes demonstraram ser bem efetivas e fornecem a energia suficiente para os motores e microcontroladores como Arduino UNO e o ESC; por tanto pode-se dizer o mesmo para a bateria LiPo de 12V que atua sobre o ESP 32 e os LEDs junto a um conversor de tensão de 5V que também é bem eficiente é crucial no projeto. Os modelos de impressão 3D não deram problemas na hora de serem implementados; o suporte do rolamento foi impresso como estava pensado, já o anel de LEDs foi



otimizado e reduzido num 10% segun sugestão do software (Simplify3D) usando menos filamentos e reduzindo um pouco o tamanho, ambos modelos demonstraram ser suficientemente resistentes e efetivos para seu papel pensado no dispositivo. Com o sensor hall e os imãs inicialmente sua

Figura 10. Fonte de energia 12V e 5A



Fonte: (Autor)

implementação foi difícil, acomodando o sensor hall com os imãs de tal forma que ele fique na posição correta para a comunicação dos LEDs e consiga piscar; finalmente o sensor hall foi posicionado entre o modelo do anel e o braco reforçado para que assim faça a correta detecção, obtendo como resultado não do planejado mas sim o suficientemente satisfatórios para a apresentação do dispositivo. O motor e seus microcontroladores foram testados e chegaram ao resultado esperado; sendo utilizado um motor brushless com uma potência maior e suficiente para o brinquedo óptico acompanhado de um ESC como mostra a [Figura 11] igual de potente que fornece a energia para o controle de velocidade através da conexão PWM ligada ao Arduino UNO. O sistema do motor em geral deu resultados muito bons em quanto a qualidade e potência, mas considerando o barulho que provoca no momento do giro, este pode ser considerado muito molesto e como um resultado não esperado e afetando de forma negativa, isso pode se dever a que esse motor e geralmente é usado em projetos que requerem de maior potencial e nao sao a considerar esses aspectos; por exemplo projetos que envolvem drones. Também para a controle da velocidade como foi dito foi usado um encoder óptico junto a um disco, dessa forma foi possível uma maior precisão e configuração no sinal PWM no motor e; por mais que o encoder consegue fazer a leitura e mostrar resultados da medição, os resultados poderiam ter sido mais precisos não chegando a precisão esperada mas mesmo assim foi usado dando resultados aceitáveis é tolerável; possíveis causas disso podem ser perturbações ambientais durante a hora do teste, falta de otimização na parte do software ou a diferença entre a leitura do encoder e a potência do motor. En quanto ao sistema de controle dos LEDs; começando pelo ESP 32, foi o microcontrolador perfeito para ser usado no desenvolvimento do dispositivo permitindo a possibilidade de controlar os LEDs de forma simples e ótima com a possibilidade de estabelecer uma conexão WIFI ou Bluetooth, escolhendo preferencialmente em este projeto o último; fornecendo este microcontrolador um resultado relativamente bom. A fita de LEDs usada

Figura 11. ESC de 60A



Fonte: (Autor)

foi uma parecida ao modelo APA102, precisamente o modelo APA102C com a diferença que oferece frequências de transmissão de dados menores a um preço menor que, para esse projeto demonstrou ser útil dando resultados bons, apresentado uma boa aderência para ficar fixada no anel de LEDs. Embora os resultados anteriores do ESP 32 e fita de LEDs sejam aceitáveis, nem todas as imagens que foram pensadas para serem implementadas no início foram aplicadas, sendo possível no final só uma representação abstrata de uma figura projetada pelo brinquedo óptico não conseguindo atingir essa meta planejada. No final, o projeto apresenta tanto bons resultados qualitativos como o sistema motor-microcontrolador, boas fontes de poder fornecendo suficiente energia, os modelos de impressão 3D feitos a medida e a fita APA102C quanto aos outros resultados que poderiam ser melhorados como a base de madeira, a leitura feita pelo encoder óptico e disco, o barulho ocasionado pelo dispositivo e as imagens transmitidas com o movimento do brinquedo; embora pode não ser perfeito o projeto observa-se com resultados aceitáveis para sua apresentação.

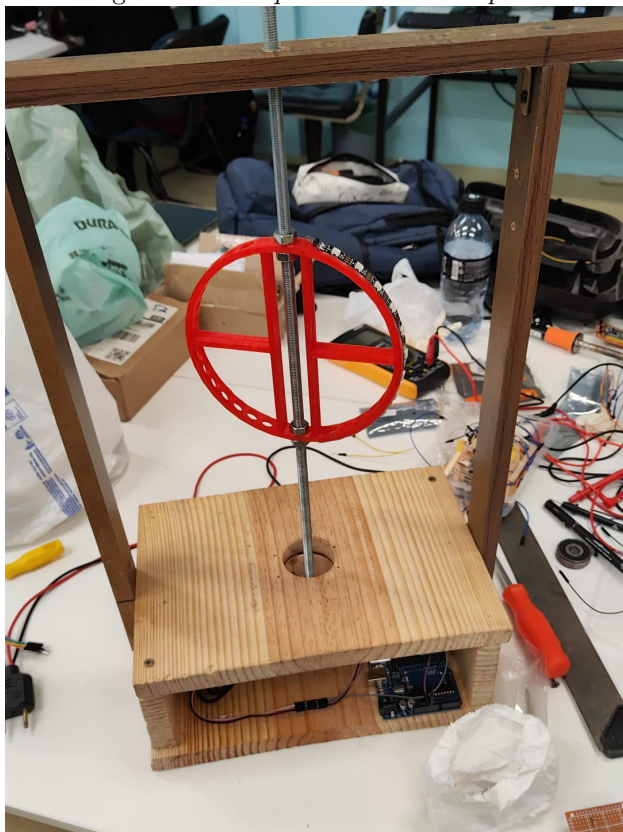
## 5. CONCLUSÃO

No tempo investido em este projeto, onde foi experimentado as correntes da educação e da tecnologia sendo combinadas, e sendo um de seus objetivo lançar a luz os meandros que unem esses dois pilares fundamentais da sociedade moderna; em curso de sua finalização, desvelaram-se intrincadas conexões entre as inovações tecnológicas e os avanços no campo educacional, apontando para uma simbiose essencial na formação de profissionais e cidadãos capazes de lidar com as complexidades do mundo contemporâneo.

O papel crítico desempenhado pela tecnologia no ambiente acadêmico é inegável. Projetores, LEDs e dispositivos afins emergem como materiais de apoio, guiando o caminho para uma forma revolucionária de aprendizado. Essas ferramentas não são meros facilitadores, mas sim ferramentas de uma transformação na dinâmica de ensino, capacitando professores e alunos a explorar fronteiras antes inalcançáveis.

Na concepção e materialização de um brinquedo óptico de LED como se pode ver na [Figura 12], um testemunho

Figura 12. Brinquedo de LED completo



Fonte: (Autor)

da fusão entre a física da luz, a engenharia mecânica e a programação foi a parte principal de este trabalho. Mais do que um artefato lúdico, esta criação personifica uma abordagem ousada e inovadora para a educação. Ao envolver em princípios ópticos, mecânicos e de programação, o brinquedo não apenas cativa, mas também ilumina os caminhos do conhecimento de maneira única e envolvente.

A interdisciplinaridade, desde a concepção até a implementação do dispositivo, emerge como início de esta atividade fomentando uma vez mais o trabalho em grupo. A amalgama de conceitos provenientes da física, engenharia e ciência da computação não é apenas uma estratégia metodológica; é uma declaração ousada sobre a necessidade de transcender as barreiras acadêmicas para forjar soluções verdadeiramente inovadoras.

No entanto, como em todo projeto, desafios surgem no seu desenvolvimento. A estabilidade durante a rotação, apesar dos esforços na estrutura de suporte, é um aspecto a ser explorado com mais profundidade. O murmúrio inesperado do motor brushless, indesejado, ecoa a importância de considerar não apenas a eficácia técnica, mas também a experiência sensorial na engenharia desses dispositivos.

Os resultados, quantitativos e qualitativos, servem como dados empíricos que orientam o entendimento deste projeto. A eficiência energética das fontes de alimentação e a comunicação Bluetooth apontam para resultados agradáveis, indicando a viabilidade prática do projeto. Entretanto, a leitura do encoder óptico e a precisão na transmissão das imagens sinalizam resultados que comprometam o funcionamento correto do dispositivo, apontando para

ajustes necessários na parte mecânica e nos algoritmos de controle.

Em síntese, este projeto não é apenas uma incursão na combinação entre tecnologia e educação; é uma afirmação sobre a capacidade transformadora dessa interseção. O brinquedo óptico de LED transcende sua função inicial, emergindo como uma ferramenta educacional de destaque. Este trabalho não apenas evidencia o potencial da tecnologia no ambiente acadêmico, mas também ressalta a importância de uma abordagem holística e interdisciplinar na criação de soluções pedagógicas eficazes.

Ao lançarmos nossos olhares para o horizonte do futuro, a integração de dispositivos educacionais interativos como este surge como um elemento essencial na formação de mentes criativas e adaptáveis às exigências dinâmicas da sociedade contemporânea. Num mundo em constante transformação, onde as ondas da inovação nunca cessam, o entorno educacional e tecnológica se desenha como uma constante exploração, instigando o pensamento crítico, nutrindo a curiosidade e pavimentando um caminho onde a educação e a tecnologia são parceiras indissociáveis na forja de mentes brilhantes e preparadas para enfrentar os desafios do desconhecido.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa mais profunda gratidão a todas as pessoas e instituições cujo engajamento e contribuições desempenharam papéis fundamentais e inestimáveis no desenvolvimento e conclusão deste projeto, elevando-o a um patamar de notabilidade e inovação sem precedentes.

Iniciamos nossos agradecimentos dirigindo nossas palavras à venerável Faculdade de Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), cujo ambiente acadêmico não apenas inspirador, mas também ricamente equipado, proporcionou o solo fértil para o crescimento e a materialização deste projeto. O apoio incansável e o comprometimento exemplar da dedicada equipe administrativa e docente desta instituição foram pilares essenciais que não apenas sustentaram, mas também impulsionaram cada fase do nosso trabalho.

Não podemos deixar de expressar nossa profunda gratidão aos colegas e colaboradores, cujas contribuições, tanto diretas quanto indiretas, foram entrelaçadas de maneira intrincada no tecido deste projeto desafiador. A troca incessante de ideias e a colaboração dinâmica não apenas constituíram elementos cruciais na superação de desafios, mas também moldaram continuamente e aprimoraram as soluções propostas.

Um agradecimento especial é reservado aos ilustres profissionais e pesquisadores que, com generosidade, compartilharam suas vastas experiências e conhecimentos durante as diversas fases de revisões e discussões acadêmicas. Suas contribuições, verdadeiramente excepcionais, não apenas enriqueceram a qualidade intrínseca do nosso trabalho, mas também conferiram uma dimensão mais ampla de relevância e impacto ao projeto.

Além disso, estendemos nossos sinceros agradecimentos àqueles que se envolveram ativamente nos testes e ex-

perimentos, fornecendo insights profundos e valiosos que desempenharam um papel crucial na validação metódica e no contínuo refinamento do nosso projeto.

Não podemos deixar de reconhecer e agradecer às instituições e financiadores cujo apoio generoso não apenas foi um pilar central para o sucesso desta empreitada, mas também um investimento estratégico que promoveu avanços significativos na pesquisa.

Por último, mas não menos importante, dirigimos nossa gratidão aos nossos familiares e amigos, cuja compreensão, paciência e apoio inabalável foram verdadeiramente os alicerces emocionais durante todo este processo desafiador. Seu incentivo moral não apenas impulsionou nossa motivação, mas também solidificou a base emocional que sustentou cada passo em direção ao sucesso.

Este projeto monumental e verdadeiramente significativo não teria atingido tais proporções sem o esforço coletivo e a colaboração exemplar de cada pessoa mencionada. A todos, nosso mais profundo agradecimento por suas contribuições excepcionais e extraordinárias, que transformaram este trabalho em uma realização notável, impactante e verdadeiramente memorável.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Marranghello, G. F., Lucchese, M. M., Hartmann, Â. M. (2020). *À luz da Ciência na Educação Infantil: Desafiando a imaginação infantil a desvendar fenômenos ópticos*. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 807–827. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p807>
- [2] Miara, M. L. (2017). *Praxinoscópio e zootrópio: brinquedos ópticos na relação arte-ciência*. *Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, 1–100. <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3072>
- [3] Lieberknecht, E. A. (2015). *Projeto de um display holográfico volumétrico rotativo*. *UNIVATES*, 1–69. <https://www.univates.br/bdu/items/b6af1e64-f50c-41c1-99b8-a0c2257c996c>