



DESENVOLVIMENTO DE UM DETECTOR DE METAIS PORTÁTIL DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO EM REFORMAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Railson Melo dos Santos¹, Maria Alice Luiz de Oliveira¹, Pablo Francisco Honorato Sampaio¹

IFPB - Campus Patos.

Autor(a) para correspondência: melo.railson@academico.ifpb.edu.br,
luiz.alice@academico.ifpb.edu.br, pablo.sampaio@ifpb.edu.br.

Resumo: A construção civil, especialmente no contexto de reformas, enfrenta o desafio de lidar com estruturas já existentes, nas quais elementos como vergalhões, tubulações e fiações elétricas encontram-se ocultos em paredes, pisos e lajes de concreto armado. A ausência de informações precisas sobre a localização desses elementos pode ocasionar acidentes, danificar a estrutura, comprometer a segurança dos trabalhadores e gerar atrasos e custos adicionais. Diante desse problema, este projeto teve como proposta o desenvolvimento de um detector de metais portátil, de baixo custo e simples utilização, aplicando conceitos básicos de eletromagnetismo. A ideia central foi criar um protótipo funcional capaz de identificar a presença de elementos metálicos embutidos nas estruturas. A metodologia adotada envolveu uma etapa inicial de pesquisa bibliográfica em livros e materiais técnicos sobre indução eletromagnética, circuitos osciladores LC e funcionamento de detectores de metais. Em seguida, realizou-se a montagem do circuito eletrônico e foi testado em diferentes condições simuladas de obra, com objetos metálicos ferrosos e não ferrosos posicionados sob superfícies de madeira, concreto e plástico. Os resultados obtidos mostraram que o detector desenvolvido apresentou boa sensibilidade, conseguindo identificar metais em distâncias adequadas para aplicações em reformas. O protótipo funcionou de forma estável e confiável, emitindo sinais claros sempre que detectar objetos metálicos. Ainda que limitado em alcance em relação a equipamentos industriais, demonstrou viabilidade como uma solução prática e acessível para uso em pequenas e médias obras.

Palavras-chave: eletromagnetismo; construção civil; detector de metais.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil, especialmente no contexto de reformas, enfrenta o desafio de lidar com estruturas já existentes, nas quais elementos como vergalhões, tubulações e fiações elétricas encontram-se ocultos em paredes, pisos e lajes de concreto armado. A ausência de informações precisas sobre a localização desses elementos pode ocasionar acidentes, danificar a estrutura,



comprometer a segurança dos trabalhadores e gerar atrasos e custos adicionais. Embora já existam detectores de metais no mercado, esses equipamentos normalmente apresentam custo elevado e exigem maior conhecimento técnico para operação, tornando-se inviáveis em pequenas e médias obras, que representam grande parte do setor.

Diante desse problema, este artigo teve como proposta o desenvolvimento de um detector de metais portátil, de baixo custo e simples utilização, aplicando conceitos de eletromagnetismo. A ideia central foi criar um protótipo funcional capaz de identificar a presença de elementos metálicos embutidos nas estruturas, acionando um alarme sonoro e visual para alertar o usuário de forma prática e confiável.

A metodologia adotada envolveu uma etapa inicial de pesquisa bibliográfica em livros e materiais técnicos sobre indução eletromagnética, circuitos osciladores LC e funcionamento de detectores de metais. Em seguida, realizou-se a montagem do circuito eletrônico em placa universal, utilizando componentes eletrônicos de fácil acesso, como transistores, resistores, capacitores, bobinas e diodo Zener. O sistema de detecção foi integrado a dispositivos de alerta (buzzer e LED), permitindo respostas imediatas à presença de metais. Após ajustes e calibração, o protótipo foi testado em diferentes condições simuladas de obra, com objetos metálicos ferrosos e não ferrosos posicionados sob superfícies de madeira, concreto e plástico.

Os resultados obtidos mostraram que o detector desenvolvido apresentou boa sensibilidade, conseguindo identificar metais em distâncias adequadas para aplicações em reformas. O protótipo funcionou de forma estável e confiável, emitindo sinais claros sempre que detectar objetos metálicos. Ainda que limitado em alcance em relação a equipamentos industriais, demonstrou viabilidade como uma solução prática e acessível para uso em pequenas e médias obras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento de um detector de metais portátil para uso na construção civil exige a compreensão de fundamentos do eletromagnetismo e da eletrônica, uma vez que seu



funcionamento depende da interação entre campos elétricos e magnéticos. Em obras, especialmente durante reformas, é comum a necessidade de identificar elementos metálicos ocultos — como vergalhões, tubulações e fiações elétricas — para evitar danos e acidentes. Tecnologias baseadas nesses princípios são amplamente empregadas na indústria, mas geralmente apresentam alto custo e complexidade, tornando inviável seu uso em obras menores (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2017).

2.1 Lei da Indução Eletromagnética de Faraday

O princípio central do protótipo é a indução eletromagnética, descrita pela Lei de Faraday, que afirma que uma variação no fluxo magnético sobre uma espira condutora gera uma força eletromotriz (fem). Essa variação pode ocorrer devido à mudança no campo magnético, ao movimento da espira ou à alteração de sua área. Sadiku (2004) explica que a fem induzida é diretamente proporcional à taxa de variação desse fluxo. No detector, quando um objeto metálico se aproxima da bobina, o campo magnético gerado por ela é perturbado, modificando a corrente elétrica no circuito e acionando um alarme sonoro que avisa o operador. Como descrito por Sadiku, a equação que representa esse fenômeno é:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

2.2 Circuitos LC e Frequência de Ressonância

O componente principal do detector é um circuito chamado oscilador LC, formado por uma bobina (indutor) e um capacitor. A frequência em que esse circuito “oscila” é determinada pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Quando um metal se aproxima da bobina, a indutância L muda, e isso altera a frequência do circuito. Sadiku (2004) explica que sensores e detectores dependem dessa mudança na indutância para funcionar corretamente. Quando a frequência muda, circuitos simples, como LEDs ou buzzer, percebem a alteração e emitem um sinal sonoro ou visual para avisar o usuário



(MALVINO; LEACH, 2011).

2.3 Correntes Parasitas e Interferência Magnética

As correntes parasitas, também conhecidas como eddy currents, são formadas em materiais condutores submetidos a um campo magnético variável. Essas correntes geram campos magnéticos secundários que interferem no campo original da bobina. Oliveira (2021) destaca que esse fenômeno está na base do funcionamento de equipamentos como transformadores e motores, e que “essas correntes produzem perdas, mas também são úteis em sensores e sistemas de detecção”.

No detector de metais, as correntes parasitas atuam como sinal indireto da presença de objetos metálicos, causando perturbações perceptíveis no circuito ressonante.

2.4 Equações de Maxwell e Aplicações Reais

As equações de Maxwell constituem a base teórica do eletromagnetismo, descrevendo de forma precisa a interação entre os campos elétricos e magnéticos. Fundamentadas nas contribuições de Faraday, Gauss e Ampère, essas equações explicam como variações temporais nesses campos geram ondas eletromagnéticas, permitindo a propagação de energia através do espaço. Tipler e Mosca (2016) ressaltam que essas equações explicam, por exemplo, a geração e propagação de ondas eletromagnéticas, essenciais para dispositivos como antenas, geradores e sensores.

Segundo Sadiku (2004), a compreensão dessas equações é indispensável para a concepção e análise de sistemas eletromagnéticos modernos. Essa ideia é reforçada por Oliveira et al. (2019), ao destacarem que as equações de Maxwell são ferramentas matemáticas fundamentais na engenharia elétrica, não apenas para explicar fenômenos físicos, mas também para projetar tecnologias que atendam às demandas do mercado. O domínio dessas equações possibilita, por exemplo, o desenvolvimento de antenas com diretividade otimizada, o aproveitamento da indução eletromagnética em geradores de energia e a análise de condutividade elétrica em materiais condutores e isolantes.



Além disso, as equações de Maxwell se estendem ao entendimento das condições de fronteira em condutores, às propriedades dielétricas dos materiais e ao comportamento da densidade de corrente em sistemas reais. Sua relevância transcende a teoria, sendo aplicada diretamente no aprimoramento de componentes eletroeletrônicos, na geração e transmissão de energia elétrica, e no avanço contínuo da engenharia e da tecnologia.

2.5 Eletrostática e Aplicações no Protótipo

2.5.1 Conceitos Básicos de Eletrostática

A eletrostática é a área da física que estuda as cargas elétricas quando estão em repouso, os campos elétricos que elas produzem e a diferença de potencial entre pontos. No protótipo do detector de metais, esses conceitos aparecem em componentes como o capacitor, que armazena energia elétrica, e o diodo Zener, que mantém a tensão estável, protegendo o circuito contra picos de energia.

Compreender a eletrostática ajuda a explicar como pequenas mudanças na presença de metais próximos à bobina alteram o comportamento do circuito. Essas alterações permitem que o detector identifique vergalhões, tubos ou fios escondidos em paredes e pisos, emitindo alertas sonoros ou visuais. Assim, conceitos que parecem apenas teóricos se tornam essenciais para que o equipamento funcione de forma segura e eficiente na prática (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2017).

2.5.2 Componentes Eletrostáticos no Protótipo

No protótipo do detector de metais, alguns componentes funcionam com base em conceitos de eletrostática:

- Capacitor: atua como uma “reserva de energia elétrica”, armazenando carga para manter o circuito LC funcionando de forma estável e confiável;
- Diodo Zener: mantém a tensão do circuito constante, protegendo os componentes contra variações que poderiam danificá-los.



2.5.3 Energia Armazenada no Capacitor

A energia armazenada em um capacitor é calculada pela relação:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3)$$

onde: U é a energia elétrica em joules;

C é a capacitância em farads;

V é a diferença de potencial em volts.

No protótipo do detector de metais, essa energia armazenada é essencial para manter o circuito LC funcionando de forma estável. Ela garante que a bobina consiga gerar o campo magnético necessário para detectar a presença de metais próximos. Além disso, o controle da carga no capacitor evita que picos de energia danifiquem os componentes sensíveis do circuito, como o diodo Zener, LEDs ou o buzzer, assegurando que o detector opere com segurança e eficiência.

2.5.4 Importância do Controle de Tensão e Armazenamento de Carga

Controlar a tensão e gerenciar a carga elétrica armazenada no circuito é fundamental para o funcionamento do detector de metais. Isso permite:

- Manter a estabilidade do campo magnético gerado pela bobina: quando a bobina produz um campo magnético constante, o circuito consegue detectar com precisão a presença de metais próximos, sem sinais falsos causados por flutuações de energia;
- Garantir a sensibilidade do detector: pequenas alterações no campo magnético, causadas pela proximidade de vergalhões, tubulações ou fios, precisam ser percebidas pelo circuito. Um armazenamento de carga adequado garante que essas variações acionem corretamente o alarme sonoro ou visual, tornando o protótipo confiável e seguro para uso em obras.



2.6 Eletrodinâmica e Aplicações no Protótipo

A eletrodinâmica estuda as cargas elétricas em movimento e os efeitos que elas provocam, como corrente elétrica, resistência e potência nos circuitos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2017). No detector de metais, esses conceitos são aplicados para controlar a passagem de corrente, garantindo que o circuito funcione de forma estável. Na prática, isso significa que a energia fornecida à bobina, ao oscilador LC e ao alarme é suficiente para detectar metais próximos sem sobrecarregar os componentes. Controlar a corrente dessa maneira ajuda o dispositivo a manter sua sensibilidade, permitindo que pequenas variações no campo magnético sejam percebidas e convertidas em sinais visuais ou sonoros confiáveis.

2.6.1 Corrente Elétrica

A corrente elétrica é o movimento das cargas elétricas, geralmente elétrons, através de um condutor. No detector de metais, essa corrente é responsável por alimentar todos os componentes do circuito, incluindo a bobina, o oscilador LC e o sistema de alarme, como LEDs e buzzer. Sem uma corrente constante e controlada, o detector não conseguiria gerar o campo magnético necessário para perceber a presença de metais, nem acionar os sinais de alerta de forma confiável. É por meio desse fluxo de energia que o dispositivo consegue funcionar de maneira estável e sensível às variações causadas pelos objetos metálicos próximos.

2.6.2 Lei de Ohm

Relaciona tensão (V), corrente (I) e resistência (R):

$$V = R i \quad (4)$$

Na prática, isso nos ajuda a entender como a energia elétrica se comporta dentro do circuito. No detector de metais, aplicar essa lei é essencial para dimensionar corretamente os resistores, garantindo que a quantidade de corrente que passa pelos componentes sensíveis — como LEDs, buzzer e transistores — seja adequada. Se a corrente for muito alta, os componentes podem queimar; se for muito baixa, o circuito pode não funcionar direito e o alarme não será acionado.



Além disso, controlar a corrente com base na Lei de Ohm permite que o detector mantenha estabilidade e precisão. Por exemplo, pequenas alterações no campo magnético provocadas por vergalhões ou tubos de metal precisam ser detectadas de forma confiável. Sem o ajuste correto da resistência, essas mudanças poderiam passar despercebidas, tornando o dispositivo menos eficiente.

Portanto, entender e aplicar a Lei de Ohm não é apenas um exercício teórico, mas uma etapa prática fundamental para que o detector funcione de maneira segura, eficiente e sensível às variações do ambiente, cumprindo seu papel na prevenção de acidentes em obras e reformas.

2.6.3 Associação de Resistores

Os resistores podem ser ligados em série ou em paralelo, e cada forma afeta a corrente e a tensão do circuito de maneira diferente:

- Série: a resistência total é a soma das resistências individuais

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (5)$$

A mesma corrente percorre todos os resistores. No detector, usar resistores em série ajuda a controlar gradualmente a corrente que passa pelos componentes, garantindo que cada parte do circuito receba a energia adequada;

- Paralelo: a resistência total é calculada por

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (6)$$

A tensão é igual para todos, mas a corrente se divide entre os resistores. Essa configuração é útil para distribuir a energia de forma equilibrada, evitando sobrecarga em um único componente.



Cuidar do planeta, cuidar das pessoas:

Cultura Oceânica e Educação Inclusiva para uma Sociedade Sustentável

No detector de metais, combinar resistores em série e paralelo permite ajustar a sensibilidade do oscilador LC e a resposta do alarme, tornando o dispositivo confiável na detecção de metais próximos.

2.6.4 Potência Elétrica

A potência elétrica indica a quantidade de energia que um componente consome ou dissipa, e é calculada pela fórmula:

$$P = V i \quad (7)$$

No protótipo, essa informação é essencial para proteger componentes sensíveis, como LEDs, buzzer, transistores e a própria bobina. Se a potência for maior do que o permitido, o componente pode superaquecer e falhar. Por outro lado, se for muito baixa, o detector pode não emitir sinais adequados ao perceber um metal.

Controlar a potência garante que o circuito opere de forma estável e eficiente, mantendo a sensibilidade necessária para detectar pequenas variações no campo magnético e acionar corretamente os alertas. Dessa forma, o detector consegue funcionar com segurança, precisão e durabilidade, cumprindo seu papel de prevenção de acidentes durante reformas e intervenções em estruturas de concreto.

2.7 Aplicação na Construção Civil

O detector de metais desenvolvido é muito fácil de usar, de forma que qualquer pessoa consegue manuseá-lo sem precisar de conhecimentos técnicos avançados. Basta ligar o aparelho e aproximá-lo da superfície que será verificada; quando houver metais próximos, como vergalhões, tubos ou fios, o dispositivo emite um sinal sonoro ou visual. Essa simplicidade faz com que o protótipo seja acessível para profissionais de diferentes níveis de experiência, tornando-o útil não apenas para engenheiros, mas também para pedreiros, auxiliares de obra e outros trabalhadores da construção civil.



Além disso, o design do protótipo foi pensado para que todas as operações sejam intuitivas: os controles são simples e os alertas claros, permitindo que o usuário identifique rapidamente a presença de materiais metálicos. Isso garante maior segurança durante reformas e construções, reduzindo o risco de acidentes e de danos às estruturas. Por ser portátil e de baixo custo, o detector pode ser facilmente levado para qualquer obra, oferecendo uma solução prática, eficiente e confiável para pequenos, médios e grandes projetos

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto consistiu em etapas experimentais e empíricas, baseadas na aplicação dos princípios do eletromagnetismo à construção de um circuito eletrônico funcional. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em livros e materiais técnicos sobre indução eletromagnética, circuitos osciladores LC e detecção de metais com bobinas sensíveis, a fim de compreender os fundamentos teóricos do funcionamento do sensor.

Em seguida, procedeu-se à seleção dos componentes eletrônicos necessários, com ênfase em materiais de baixo custo e fácil acesso, conforme listado na seção 3.1. A montagem do circuito foi realizada inicialmente em uma protoboard, permitindo testes, ajustes e medições antes da versão final.

Durante a construção do protótipo, adotou-se uma abordagem experimental interativa, na qual os parâmetros do circuito, como o número de espiras da bobina e os valores dos resistores e capacitores, foram modificados para otimizar a sensibilidade do detector. O sistema de alarme foi ajustado de forma a fornecer resposta sonora imediata à detecção de metais, por meio de variações no campo magnético.



3.1 Materiais Utilizados

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados.

Nome	Quantidade	Componente
TBC547, T1, T2	3	"Transistor NPN (BJT)"
R1	1	"1 k Ω Resistor"
Rpot6	1	"10 k Ω Potenciômetro"
Rpot7	1	"1 k Ω Potenciômetro"
C1	1	"1 nF Capacitor"
U1	1	"5.1 V Diodo Zener"
R2	1	"2.7 k Ω Resistor"
R3	1	"10 k Ω Resistor"
D1	1	"Diodo"
C3	1	"47 nF Capacitor"
R4, R5	2	"470 Ω Resistor"
D2	1	"Vermelho LED"
PIEZO1	1	"Piezo"
BAT3	1	"Bateria 9V"
S3	1	"Interruptor deslizante"
Lbobina 150sp	1	"300 H Indutor"
Lbobina 150sp1	1	"150 H Indutor"

Fonte: De autoria própria, 2025.

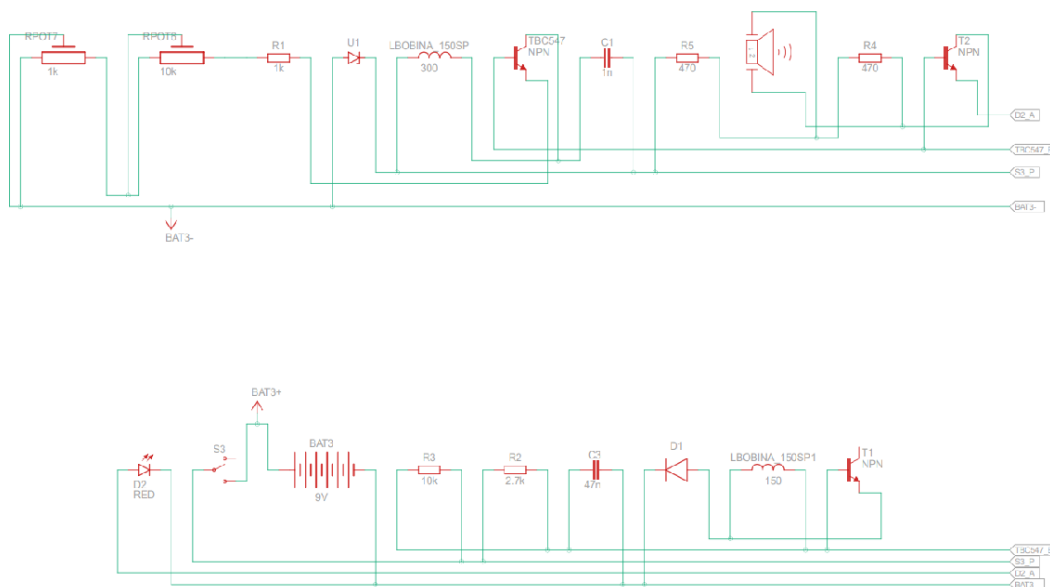
3.2 Procedimentos

1. Enrolar a bobina com aproximadamente 150 voltas de fio de cobre em tubo/anel de ~8 cm.
2. Montar o circuito oscilador com transistor BC547, potenciômetros e diodo zener.
3. Ajustar sensibilização com o potenciômetro Rpot6/Rpot7.
4. Conectar buzzer piezo e LED indicador via transistor e resistores.



5. Alimentar o circuito com bateria 9 V e interruptor deslizante.
6. Realizar testes com metais sob superfícies variadas e calibrar o sistema até resposta confiável.

Figura 1 – Diagrama esquemático do circuito eletrônico do detector de metais.



Fonte: Elaborado pelos autores com base no circuito de oscilador LC com buzzer, 2025.

Por fim, foram realizados testes práticos em ambiente simulado de obra, com diferentes tipos de objetos metálicos (ferrosos e não ferrosos), sob materiais como madeira e concreto. Os dados coletados durante os testes permitiram avaliar a eficácia e a resposta do dispositivo, ajustando-o até alcançar um desempenho satisfatório para aplicações reais na construção civil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Montagem do Protótipo

A construção do protótipo teve início com a confecção da bobina sensora, que foi enrolada manualmente com aproximadamente 150 voltas de fio de cobre esmaltado, utilizando como suporte um anel de PVC com cerca de 8 cm de diâmetro. Essa bobina atua como o



elemento principal na geração do campo magnético oscilante e na detecção de interferências provocadas pela presença de metais.

Em seguida, foi montado o circuito oscilador em uma protoboard, utilizando um transistor BC547, potenciômetros (Rpot6 e Rpot7) e um diodo zener de 5,1 V para estabilização da tensão. Após a montagem básica, foram conectados um buzzer piezoelétrico e um LED indicador, ligados por meio de resistores e transistores, com o objetivo de gerar sinais sonoros e visuais diante da detecção de metais. A alimentação do circuito foi feita com uma bateria de 9V, controlada por um interruptor deslizante.

Com o circuito completo, realizaram-se testes práticos de detecção, posicionando diferentes objetos metálicos (ferrosos e não ferrosos) sob superfícies de madeira, concreto e plástico. A sensibilidade foi ajustada gradualmente por meio dos potenciômetros até que o sistema apresentasse respostas estáveis e confiáveis, com ativação clara do alarme na presença de metais próximos à bobina.

Figura 2 – Protótipo montado do detector de metais.



Fonte: De autoria própria, 2025.



4.2 Testes de Detecção

Foram realizados testes com diferentes metais, como pregos, parafusos, vergalhões e pedaços de fio de cobre, posicionando-os sobre superfícies de madeira e concreto com espessuras variadas. O objetivo foi simular situações reais de detecção em paredes e pisos.

Tabela 2 – Resultados dos testes com diferentes metais.

Objeto Metálico	Tipo	Distância Média de Detecção	Detecção Sonora
Pregos (ferro)	Ferroso	4 cm	Sim
Fio de cobre (2,5mm)	Não ferroso	4 cm	Sim
Vergalhão 5/16"	Ferroso	6 cm	Sim
Moeda de alumínio	Não ferroso	5.5 cm	Sim
Tubo metálico (oculto sob 2 cm de madeira)	Ferroso	3 cm	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 3 – Testes em diferentes metais



Fonte: De autoria própria, 2025.



4.3 Análise dos Resultados

Os testes experimentais demonstraram que o protótipo do detector de metais é funcional e apresenta bom desempenho para diferentes tipos de objetos metálicos, tanto ferrosos quanto não ferrosos. Os pregos de ferro e o fio de cobre (2,5 mm) foram detectados a uma distância média de 4 cm, indicando que o dispositivo possui sensibilidade suficiente para materiais de pequeno porte. Já o vergalhão 5/16", por possuir maior volume e ser altamente condutivo, foi detectado a uma distância superior, de 6 cm, o que reforça a eficiência do sistema para elementos estruturais comuns na construção civil.

A moeda de alumínio, apesar de ser um metal não ferroso, foi detectada a 5,5 cm, o que evidencia a capacidade do sistema em responder também a metais que não geram campos magnéticos tão intensos quanto os ferrosos. No teste mais desafiador — um tubo metálico oculto sob 2 cm de madeira — o detector respondeu positivamente a uma distância média de 3 cm, o que comprova sua utilidade prática em cenários reais de obra, onde os metais muitas vezes se encontram cobertos por revestimentos.

Esses resultados demonstram que o protótipo apresenta respostas confiáveis e consistentes, com detecção sonora clara em todos os casos testados. O desempenho pode ser ainda mais otimizado com ajustes na bobina e nos componentes do circuito, adaptando-o conforme a necessidade do ambiente de aplicação. Trata-se, portanto, de uma ferramenta promissora para a engenharia civil, com potencial de ser utilizada em obras e reformas para aumentar a segurança, reduzir danos estruturais e evitar acidentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do detector de metais portátil de baixo custo demonstrou ser uma aplicação eficiente dos princípios do eletromagnetismo estudados em Física 3. Utilizando conceitos como a indução eletromagnética, circuitos oscilantes LC e correntes parasitas, foi possível projetar um dispositivo funcional, capaz de identificar com precisão a presença de



metais ocultos em estruturas, como vergalhões, fios elétricos e tubulações.

Os testes práticos comprovaram a eficácia do protótipo, que respondeu de forma sensível e confiável a diferentes tipos de metais, mesmo quando posicionados sob materiais como madeira e concreto. Com isso, o dispositivo se apresenta como uma solução acessível e de fácil operação, voltada para profissionais da construção civil que necessitam de ferramentas simples e seguras durante os processos de reforma.

REFERÊNCIAS

AUTODESK . Tinkercad. 2025. Disponível em: <https://www.tinkercad.com> . Acesso em: 03 set. 2025.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Eletricidade e Magnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MALVINO, A. P.; LEACH, D. P. Eletrônica: princípios e aplicações. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2011.

OLIVEIRA, Ivan de. Introdução ao eletromagnetismo. São Paulo: Blucher, 2021.

OLIVEIRA, Matheus Coelho de et al. Aplicações das equações de Maxwell na engenharia elétrica. Revista Acadêmica – Ensino de Ciências e Tecnologias, IFSP – Campus Cubatão, v. 5, n. 5, p. 11–23, ago./dez. 2019.

SADIKU, Matthew N. O. Elementos de eletromagnetismo. 3. ed. Tradução de Jorge A. Lisboa e Liane L. Loder. Porto Alegre: Bookman, 2004.

TIPLER, P; MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros – Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 2016.