

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA



SEPES - SISTEMA EFICIENTE DE PARADAS COM ENERGIA SUSTENTÁVEL

JUAN PABLO MACHADO RODRIGUES

KAUA SANTAREM DOS SANTOS

SÃO LEOPOLDO

2025

JUAN PABLO MACHADO RODRIGUES
KAUA SANTAREM DOS SANTOS

SEPES - SISTEMA EFICIENTE DE PARADAS COM ENERGIA SUSTENTÁVEL

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação da professora Linamir Rodrigues da Rosa e coorientação do professor Thiago Lucena Schmidt.

SÃO LEOPOLDO

2025

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como tema a criação de um sistema sustentável de iluminação para paradas de ônibus urbanas, a partir da geração de energia elétrica pelo deslocamento de veículos em quebra-molas. A pesquisa parte do problema da falta de iluminação em pontos de ônibus, situação que compromete a segurança e aumenta a vulnerabilidade de usuários, especialmente durante a noite. O projeto propõe o desenvolvimento de um protótipo baseado nos princípios da indução eletromagnética, no qual ímãs permanentes e bobinas de cobre convertem a energia mecânica dos veículos em energia elétrica, que é posteriormente armazenada em baterias para alimentar lâmpadas LED acionadas automaticamente por sensores de luminosidade. Além disso, a integração com energia solar fotovoltaica garante autonomia em locais com menor fluxo de veículos, reforçando a confiabilidade e a sustentabilidade do sistema. O estudo também contempla aspectos de automação, gestão de energia e durabilidade estrutural do dispositivo, avaliando sua viabilidade prática e econômica. A metodologia adota abordagem qualitativa e explicativa, com pesquisa bibliográfica, modelagem do protótipo, montagem experimental e testes de geração, armazenamento e iluminação. Como resultados esperados, prevê-se a construção de um protótipo funcional capaz de manter pontos de ônibus iluminados de forma contínua, segura e sustentável, contribuindo para a redução de gastos públicos, incentivo ao transporte coletivo e promoção da inclusão social em áreas urbanas.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Indução eletromagnética; Transporte público; Iluminação urbana; Energia renovável.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho do protótipo	25
Figura 2 – Esquema elétrico	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Estado da Arte	12
Tabela 2- Tecnologias de armazenamento	18
Tabela 3- Componentes mecânicos	20
Tabela 4- Componentes Elétricos	21
Tabela 5- Cronograma	29
Tabela 6- Recurso	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEA	International Energy Agency
ONU	Organização das Nações Unidas
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentora

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volts
Wb	Weber

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	
10	
1.2 PROBLEMA	
10	
1.3 OBJETIVOS	
11	
1.3.1 OBJETIVO GERAL	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.4 JUSTIFICATIVA	
11	
2. ESTADO DA ARTE	
12	
2.1 ÔNIBUS ELÉTRICO – CAMINHOS PARA UM TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E MAIS EFICIENTE	12
2.2 USAR BURACOS E LOMBADAS PARA GERAR ENERGIA EM CARROS ELÉTRICOS	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
15	
3.1 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	15
3.1.1 SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE URBANO	15
3.1.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO ILUMINAÇÃO	15
3.2 PRINCÍPIOS DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	16
3.2.1 LEI DE FARADAY DA INDUÇÃO	16
3.2.2 LEI DE LENZ E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	17
3.3 ARMAZENAMENTO E GERENCIAMENTO DE ENERGIA	17
3.3.1 TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO	17
3.3.2 GESTÃO DE ENERGIA	18
3.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE COMPLEMENTAR	18
3.4.1 FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	18
3.4.2 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE INDUÇÃO	18
3.5 AUTOMAÇÃO E ILUMINAÇÃO INTELIGENTE	19
3.5.1 SENSORES DE LUMINOSIDADE (LDR)	19
3.5.2 SENSORES DE PRESENÇA	19
3.5.3 CONTROLE ELETRÔNICO	19
3.6 ESTRUTURA ELETROMECAÂNICO DO QUEBRA-MOLA GERADOR	19
3.6.1 COMPONENTES MECÂNICOS	19
3.6.2 COMPONENTES ELÉTRICOS	20
3.6.3 Manutenção e Durabilidade	21

4. METODOLOGIA	22
4.1 TIPO DE PESQUISA	23
4.2 DESENHO DO PROTÓTIPO	24
4.3 ESQUEMA ELÉTRICO	26
4.4 ENTREVISTA	26
5. CRONOGRAMA	29
6. RECURSOS	30
7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS	31

1. INTRODUÇÃO

Pouco se fala sobre a importância do transporte público, que é uma das principais formas de locomoção nas cidades, especialmente para aqueles e aquelas que dependem dele para estudar, trabalhar ou realizar outras atividades cotidianas. Em muitas regiões, a segurança nas paradas de ônibus, principalmente durante a noite, é uma preocupação constante. Estudos indicam que aproximadamente 40% das paradas de ônibus em áreas urbanas brasileiras não possuem iluminação adequada durante o período noturno, o que representa um grave problema para a segurança dos usuários. A ausência de iluminação não só dificulta a visibilidade, mas também aumenta a vulnerabilidade a crimes, como assaltos e agressões, tornando a espera pelo transporte público um momento de risco.

Esse cenário afeta de forma mais intensa grupos socialmente vulneráveis, como mulheres e pessoas idosas. Pesquisas mostram que cerca de 70% das mulheres relatam sentir medo ou insegurança ao aguardar o transporte público em paradas sem iluminação à noite. Da mesma forma, pessoas idosas tendem a evitar o uso do transporte público noturno devido à sensação de insegurança, o que limita sua mobilidade e acesso a serviços essenciais. A falta de iluminação adequada nas paradas de ônibus, portanto, não é apenas uma questão de conforto, mas um fator determinante para a segurança e a inclusão social.

O objetivo central deste projeto vai além da simples geração de energia; busca-se criar um ambiente acolhedor e seguro para todos os usuários do transporte público, especialmente para mulheres e pessoas idosas, que são mais vulneráveis à sensação de insegurança. Ao garantir iluminação adequada e constante nas paradas de ônibus, pretende-se reduzir o medo e a ansiedade associados à espera pelo transporte durante a noite, incentivando o uso do sistema público de forma mais ampla e inclusiva. A iluminação eficiente contribui para a percepção de segurança, aumenta a visibilidade e a vigilância natural do local, promovendo um espaço onde as pessoas possam se sentir protegidas e confiantes para realizar suas atividades cotidianas, independentemente do horário.

Pensando nisso, a proposta deste projeto é desenvolver um gerador de energia sustentável a partir da passagem de veículos sobre um quebra-molas, com o objetivo de proporcionar iluminação e segurança nas paradas de ônibus, especialmente à noite. A principal finalidade dessa iniciativa é gerar energia de forma limpa e renovável, utilizando o alto volume do trânsito para alimentar sistemas de iluminação nas paradas de ônibus. Ao integrar tecnologias que convertem a energia mecânica do movimento dos veículos em energia elétrica, buscamos proporcionar um ambiente mais seguro para os cidadãos que necessitam aguardar pelo transporte público em horários de pouca visibilidade.

O conceito central do funcionamento do gerador é baseado em princípios de indução eletromagnética. A ideia é instalar molas em cada lado do quebra-molas, com uma bobina de cobre posicionada no meio. Abaixo da bobina, um ímã com polaridade norte-sul será instalado. Quando um veículo passa sobre o quebra-molas, o movimento do carro provoca a interação entre o ímã e a bobina, gerando energia elétrica. Essa energia será armazenada em uma bateria específica que é utilizada para acender as luzes nas paradas de ônibus.

Além de garantir que as paradas de ônibus estejam iluminadas de forma automatizada, com o auxílio de uma fotocélula que aciona as luzes quando o ambiente escurece, nosso projeto também visa aumentar a atenção sobre a importância da sustentabilidade e do uso responsável dos recursos naturais. A energia gerada pela passagem dos veículos não só

contribui para a segurança dos cidadãos, mas também serve como exemplo de como podemos reaproveitar a energia de fontes cotidianas, como o tráfego urbano, para melhorar a qualidade de vida e proteger o meio ambiente.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Criação de um gerador eletromagnético, para converter a energia mecânica da passagem de veículos em energia elétrica, usando para iluminar paradas de ônibus e aumentar a segurança durante os períodos noturnos ou de pouca iluminação

1.2 PROBLEMA

É possível utilizar a energia gerada pela movimentação de veículos em quebra-molas para fornecer iluminação sustentável para iluminar pontos de ônibus em períodos noturnos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo sustentável capaz de captar a energia no ato de veículos passarem no quebra mola para iluminar pontos de ônibus a noite.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um sistema sustentável a partir do movimento de veículos sobre o quebra-molas, com objetivo de fornecer iluminação pública em pontos de ônibus.
- Utilizar princípios da indução eletromagnética para gerar energia limpa voltada à iluminação de espaços urbanos.
- Investigar os princípios físicos da indução eletromagnética aplicáveis à geração de energia em quebra-molas.

1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha pelo desenvolvimento deste projeto surgiu a partir da identificação de um problema recorrente em diversas paradas de ônibus: a baixa luminosidade, que contribui para a sensação de insegurança entre os passageiros. Muitas pessoas dependem do transporte público para realizar suas atividades diárias, como ir ao trabalho ou à escola, e a espera em locais mal iluminados, especialmente durante o período noturno, pode aumentar o medo e a vulnerabilidade dos usuários.

O objetivo central deste projeto é melhorar a iluminação das paradas de ônibus, criando um ambiente mais seguro e acolhedor para os passageiros. Por meio da implementação de um sistema de iluminação eficiente, busca-se proporcionar maior tranquilidade e confiança àqueles que utilizam o transporte público, garantindo que se sintam mais protegidos enquanto aguardam o coletivo.

Parte-se da premissa de que todos os cidadãos têm o direito de usufruir de espaços públicos seguros e bem iluminados, sobretudo aqueles que dependem do transporte coletivo para suas rotinas diárias.

2. ESTADO DA ARTE

Pesquisa	Autoria	Tipo de trabalho	Ano de publicação
Ônibus elétrico - Caminhos para um transporte sustentável e mais eficiente	Evelyn Tânia Carniatto Silva	Dissertação	2022
Usar buracos e lombadas para gerar energia em carros elétricos	bmw	artigo	2022
Pavimentos como instrumento de geração de energia para o desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes	Bruno Cavalcante Mota	tcc	2019

2.1 ÔNIBUS ELÉTRICO – CAMINHOS PARA UM TRANSPORTE SUSTENTÁVEL E MAIS EFICIENTE

O estudo conclui que a substituição de ônibus a diesel por ônibus elétricos à bateria pode reduzir significativamente (até 98,37%) as emissões de carbono na mobilidade urbana, especialmente em países como o Brasil, cuja matriz energética é majoritariamente renovável. A transição deve ocorrer em duas etapas: até 2030, com a troca de parte da frota (39%), e até 2060 com a substituição total (100%), integrando o uso de energia solar e o reaproveitamento de baterias usadas. O modelo proposto contribui diretamente para vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como Ação Climática (ODS 13), Energia Limpa (ODS 7), Consumo Responsável (ODS 12) e Cidades Sustentáveis (ODS 11).

Esse trabalho se conecta diretamente com o seu projeto, que propõe a geração de energia a partir da passagem de veículos sobre quebra-molas para iluminar pontos de ônibus à noite. Ambos os projetos visam tornar o transporte público mais sustentável, utilizando fontes renováveis e alternativas de energia. Enquanto o estudo destaca a troca da frota e o uso de energia solar como meios para reduzir emissões e aumentar a eficiência energética, o seu projeto oferece uma solução complementar, ao aproveitar a movimentação urbana já existente para gerar energia local. Além disso, seu sistema pode melhorar a segurança e acessibilidade noturna nos pontos de ônibus, reforçando a sustentabilidade e inclusão urbana — objetivos alinhados com os ODS abordados no estudo.

2.2 USAR BURACOS E LOMBADAS PARA GERAR ENERGIA EM CARROS ELÉTRICOS

A BMW recentemente registrou uma patente inovadora que visa transformar a energia mecânica gerada quando veículos passam por buracos, lombadas e irregularidades nas vias em energia elétrica útil. A proposta consiste em um sistema acoplado à suspensão dos veículos, onde o movimento vertical das rodas, ao reagirem a essas irregularidades, aciona um conjunto de gerador, volante e embreagem unidirecional. Essa energia, que tradicionalmente seria dissipada em forma de calor nos amortecedores, é convertida em eletricidade e pode ser armazenada tanto na bateria auxiliar de 12 volts quanto na bateria principal de alta tensão dos carros elétricos.

A tecnologia pretende ampliar as formas de regeneração de energia nos veículos elétricos, que até então se concentravam na frenagem regenerativa. Ao utilizar as condições naturais das ruas (como lombadas e buracos) a BMW propõe uma solução que aproveita ainda mais o deslocamento urbano como fonte de energia. Embora ainda não existam dados sobre a quantidade exata de energia gerada ou prazos para implementação em veículos comerciais, acredita-se que a tecnologia estreará em modelos premium, como o BMW i7.

Essa abordagem se relaciona diretamente com o projeto que propõe a instalação de sistemas de captação de energia em quebra-molas, destinados a iluminar pontos de ônibus à noite. Ambos os projetos compartilham a mesma lógica: aproveitar a energia cinética gerada pelo tráfego urbano para atender demandas energéticas locais. Enquanto a BMW busca melhorar a autonomia dos veículos elétricos com tecnologia embarcada, o projeto voltado ao espaço urbano transforma o impacto dos veículos em energia elétrica para o bem público, promovendo segurança, sustentabilidade e inovação na infraestrutura urbana.

2.3 O PAVIMENTO COMO INSTRUMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE CIDADES INTELIGENTES

O trabalho analisado investigou o sistema mais adequado para a geração de energia elétrica por meio do pavimento viário, com foco nos materiais e geometrias mais eficientes. Através de simulações realizadas no software COMSOL, foi possível observar o comportamento de diferentes geometrias de células piezoelétricas sob cargas simuladas de veículos, levando em consideração variáveis como frequência, velocidade e volume de tráfego. As análises indicaram que a espessura das células tem maior impacto na geração de energia do que a área superficial, e que células retangulares tendem a ter melhor desempenho elétrico do que as circulares. Além disso, foi observado que o aumento no número de células em um mesmo módulo pode reduzir a eficiência, pois a carga se divide entre mais elementos, diminuindo o potencial elétrico individual.

A simulação dinâmica mostrou uma relação positiva entre frequência de passagem dos veículos e a potência gerada, indicando que vias com maior volume e velocidade de tráfego

são ideais para a aplicação da tecnologia. O estudo também apontou que, mesmo com altos custos iniciais, o sistema piezoelétrico pode ter um retorno financeiro em menos de três anos, gerando cerca de 25,5 GWh em 1 km de rodovia ao longo de sua vida útil. Contudo, o trabalho reconhece limitações, como a ausência de testes laboratoriais e de campo, além da necessidade de avaliar o armazenamento e a aplicação prática da energia gerada.

Esse estudo se relaciona diretamente com o projeto que propõe a instalação de um sistema de captação de energia em quebra-molas para iluminar pontos de ônibus à noite. Ambos têm como princípio a conversão da energia mecânica gerada pela passagem de veículos em eletricidade, mas enquanto o estudo em questão foca na aplicação da piezoelectricidade embutida no pavimento, o projeto de iluminação de pontos de ônibus propõe uma aplicação prática, localizada e de menor escala, voltada ao espaço urbano.

2.4 COMO O TRABALHO SE DIFERENCIA?

O projeto proposto se diferencia dos demais por sua simplicidade, aplicabilidade imediata e impacto direto na qualidade de vida urbana. Ele utiliza a infraestrutura existente (como quebra-molas) para gerar energia de forma eficiente, econômica e sustentável, sem depender de mudanças na frota veicular, de tecnologias avançadas embarcadas, ou de grandes intervenções estruturais. É uma solução acessível, replicável e voltada ao bem-estar social, especialmente em áreas urbanas com carência de iluminação pública e segurança..

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente trabalho fundamenta-se em conceitos de sustentabilidade, energias renováveis, indução eletromagnética, automação e eficiência energética aplicados ao contexto da iluminação pública em pontos de ônibus. A seguir, são abordados os principais referenciais teóricos que sustentam o projeto.

3.1 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A busca por soluções energéticas sustentáveis tem se intensificado em virtude da crescente demanda por eletricidade e da necessidade de reduzir impactos ambientais.

3.1.1 SUSTENTABILIDADE NO AMBIENTE URBANO

Nos centros urbanos, o consumo de energia elétrica é elevado, especialmente nos sistemas de iluminação pública, que representam significativa parcela dos gastos municipais. A adoção de tecnologias renováveis contribui para a redução da dependência da matriz elétrica convencional e para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU, em especial o ODS 7 (Energia Acessível e Limpa) e o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis).

3.1.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO ILUMINAÇÃO

A iluminação eficiente é essencial não apenas para a segurança, mas também para a redução de custos operacionais. Nesse contexto, a utilização de lâmpadas LED apresenta vantagens como:

- Baixo consumo energético;

Os LEDs consomem significativamente menos energia elétrica do que lâmpadas convencionais, como as de vapor de sódio ou fluorescentes, para produzir a mesma quantidade de luz. Essa eficiência ocorre porque os LEDs convertem a maior parte da energia elétrica em luz, gerando menos calor, o que resulta em economia de energia e menor demanda sobre sistemas de geração elétrica, especialmente em soluções sustentáveis como quebra-molas geradores e painéis solares.

- Maior vida útil em comparação às lâmpadas convencionais;

Os LEDs têm uma durabilidade muito superior às lâmpadas tradicionais, podendo funcionar entre 50.000 e 100.000 horas, enquanto lâmpadas de vapor de sódio duram entre 12.000 e 24.000 horas. Isso significa que precisam ser substituídos com menor frequência, reduzindo custos de manutenção e interrupções no funcionamento da iluminação, sendo particularmente vantajoso para aplicações públicas, como pontos de ônibus.

- Melhor índice de reprodução de cor;

O CRI é um indicador que mede a fidelidade das cores iluminadas. LEDs apresentam CRI elevado, geralmente acima de 70, permitindo que as cores dos objetos sejam percebidas de forma mais natural. Isso aumenta a segurança e o conforto visual, facilita a identificação de pessoas e objetos, e melhora a qualidade de imagens captadas por câmeras de monitoramento urbano.

- Redução da necessidade de manutenção.

Além da maior vida útil, os LEDs são mais resistentes a choques, vibrações e intempéries, possuindo invólucros com proteção contra poeira e umidade (graus IP elevados). Isso diminui a frequência de manutenções e intervenções, garantindo maior confiabilidade do sistema e menores custos operacionais, tornando-os ideais para ambientes urbanos de difícil acesso e uso contínuo.

3.2 PRINCÍPIOS DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O sistema gerador proposto baseia-se nos conceitos da Lei de Faraday e da Lei de Lenz, pilares da eletricidade e do eletromagnetismo.

3.2.1 LEI DE FARADAY DA INDUÇÃO

$$\epsilon = - N \cdot \frac{d\phi B}{dt}$$

ϵ = força eletromotriz induzida (em volts, V)

N = número de espiras do enrolamento

ϕB = fluxo magnético ($B \cdot A \cdot \cos \theta$) em weber (Wb)

$\frac{d\phi B}{dt}$ = variação do fluxo magnético no tempo

A Lei de Faraday estabelece que a variação do fluxo magnético em uma bobina induz uma corrente elétrica proporcional a essa variação. No contexto do projeto, o movimento vertical dos ímãs, provocado pela passagem de veículos sobre o quebra-molas, altera o fluxo magnético e gera eletricidade.

3.2.2 LEI DE LENZ E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

$$\epsilon = - N \cdot \frac{d\phi B}{dt}$$

De acordo com a Lei de Lenz, a corrente induzida cria um campo magnético que se opõe ao movimento que a gerou. Isso garante a conservação da energia no processo e deve ser considerado no dimensionamento do sistema, evitando perdas excessivas.

3.3 ARMAZENAMENTO E GERENCIAMENTO DE ENERGIA

A energia elétrica produzida pelo sistema de indução deve ser retificada e armazenada para posterior utilização.

3.3.1 TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO

Entre as opções mais utilizadas estão:

Tipo:	Característica:
Baterias estacionárias de chumbo-ácido	baixo custo e alta durabilidade
Baterias de íons de lítio	maior eficiência e menor peso
Supercapacitores:	alta taxa de carga e descarga, ideais para picos de demanda

3.3.2 GESTÃO DE ENERGIA

O gerenciamento do sistema é realizado por controladores eletrônicos que monitoram a entrada, armazenamento e saída de energia. Essa etapa é essencial para evitar sobrecarga, prolongar a vida útil das baterias e garantir fornecimento contínuo.

3.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE COMPLEMENTAR

A energia solar é uma alternativa limpa e inesgotável, amplamente aplicada em sistemas de geração distribuída.

3.4.1 FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células fotovoltaicas convertem a energia da radiação solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, no qual fótons incidem sobre semicondutores (geralmente silício), liberando elétrons que geram corrente elétrica contínua.

3.4.2 INTEGRAÇÃO COM O SISTEMA DE INDUÇÃO

A utilização de painéis solares nos pontos de ônibus atua como fonte complementar, garantindo autonomia em locais de tráfego reduzido. Essa integração forma um sistema híbrido que combina duas fontes renováveis, ampliando a confiabilidade e a sustentabilidade do projeto.

3.5 AUTOMAÇÃO E ILUMINAÇÃO INTELIGENTE

A automação desempenha papel fundamental para a eficiência do sistema de iluminação.

3.5.1 SENSORES DE LUMINOSIDADE (LDR)

O LDR (Light Dependent Resistor) é um sensor que altera sua resistência elétrica conforme a intensidade da luz ambiente. No projeto, é utilizado para acionar automaticamente o sistema de iluminação apenas no período noturno.

3.5.2 SENSORES DE PRESENÇA

A integração de sensores de presença contribui para economia energética, ativando a iluminação somente quando há usuários aguardando no ponto de ônibus.

3.5.3 CONTROLE ELETRÔNICO

Microcontroladores são responsáveis por integrar os diferentes sensores, gerenciar a energia disponível e garantir o funcionamento automático do sistema, proporcionando confiabilidade e praticidade.

3.6 ESTRUTURA ELETROMECHANICO DO QUEBRA-MOLA GERADOR

O dispositivo de geração de energia por indução eletromagnética deve ser projetado considerando aspectos mecânicos e elétricos.

3.6.1 COMPONENTES MECÂNICOS

- Estrutura metálica resistente à corrosão;
- Mecanismo de compressão responsável pelo deslocamento dos ímãs;
- Sistema de amortecimento para suportar diferentes pesos de veículos.

Estrutura metálica resistente à corrosão	A estrutura do quebra-molas gerador é composta por materiais metálicos com tratamento anticorrosivo, garantindo durabilidade e resistência a intempéries, como chuva, umidade e variações de temperatura. Essa característica é essencial para a operação contínua em ambientes urbanos, evitando degradação prematura e garantindo segurança estrutural.
Mecanismo de compressão responsável pelo deslocamento dos ímãs	O mecanismo de compressão é o componente central do sistema eletromecânico, transformando a energia mecânica dos veículos em movimento do ímã dentro da bobina. Cada passagem

	sobre o quebra-molas gera um deslocamento controlado do ímã, promovendo indução eletromagnética e a produção de energia elétrica de forma eficiente e segura.
Sistema de amortecimento para suportar diferentes pesos de veículos	O sistema de amortecimento absorve e distribui a força aplicada pelos veículos, evitando impactos excessivos e desgastes prematuros dos componentes internos. Ele permite que o gerador funcione de forma estável para veículos de diferentes massas, mantendo a eficiência energética e protegendo tanto o mecanismo quanto os veículos que passam sobre o quebra-molas.

3.6.2 COMPONENTES ELÉTRICOS

- Bobinas de cobre esmaltado para a geração de corrente;
- Ímãs permanentes de alta intensidade;
- Circuitos de retificação e regulação.

Bobinas de cobre esmaltado para a geração de corrente	As bobinas de cobre esmaltado são responsáveis por converter o movimento dos ímãs em corrente elétrica por meio da indução eletromagnética. O cobre é escolhido por sua alta condutividade elétrica, enquanto o esmalte atua como isolante, evitando curtos-circuitos entre as espiras e garantindo eficiência na geração de energia.
Ímãs permanentes de alta intensidade	Os ímãs permanentes proporcionam um campo magnético constante e intenso, fundamental para a indução de corrente nas bobinas. Quanto maior a força do campo magnético e a velocidade do deslocamento do ímã, maior será a corrente elétrica gerada, aumentando a

	eficiência do sistema.
Circuitos de retificação e regulação	Os circuitos de retificação convertem a corrente alternada gerada pela bobina em corrente contínua utilizável para alimentar LEDs, baterias ou outros sistemas. Já os circuitos de regulação estabilizam a tensão e a corrente, evitando sobrecargas e garantindo o fornecimento seguro e contínuo de energia, mesmo com variações na passagem dos veículos.

3.6.3 Manutenção e Durabilidade

A durabilidade de um sistema como o quebra-molas gerador depende de vários fatores que atuam de forma integrada para garantir seu funcionamento contínuo e eficiente ao longo do tempo. A manutenção preventiva é essencial, pois permite identificar desgastes, lubrificar peças móveis, verificar alinhamentos e substituir componentes antes que falhas ocorram, evitando paradas inesperadas e prolongando a vida útil do equipamento. A proteção contra intempéries, como chuva, poeira, calor intenso ou variações de temperatura, é garantida por invólucros resistentes, juntas de vedação e materiais anticorrosivos, prevenindo a degradação dos componentes metálicos e eletrônicos. Além disso, a substituição periódica de peças desgastadas, como molas, amortecedores, ímãs ou bobinas, assegura que o sistema continue operando com eficiência máxima, sem perda significativa de energia gerada. Esses cuidados combinados reduzem custos com reparos emergenciais, aumentam a confiabilidade operacional e garantem que o sistema possa operar de forma segura e sustentável por muitos anos, mesmo em ambientes urbanos com tráfego intenso.

4. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso é de caráter qualitativo e explicativo, pois busca compreender e justificar como sistemas sustentáveis podem ser aplicados em paradas de ônibus, por meio da geração de energia elétrica através da indução eletromagnética. Segundo Gil (2008), a pesquisa explicativa visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento sobre o tema.

O estudo baseia-se em pesquisa bibliográfica e documental, utilizando livros, artigos científicos e normas técnicas que tratam de sustentabilidade urbana, sistemas de geração de energia e iluminação pública. De acordo com Lakatos e Marconi (2010), a pesquisa bibliográfica é essencial para fornecer a fundamentação teórica necessária à construção do objeto de estudo.

O desenvolvimento do projeto será realizado em etapas. Inicialmente, ocorre a definição conceitual do protótipo, com o levantamento dos componentes necessários, a análise da estrutura eletromecânica e o sistema de controle. Posteriormente, será realizada a fase experimental, que incluirá a montagem do protótipo e a execução de testes. Para isso, serão utilizadas ferramentas de desenho e modelagem técnica, como AutoCAD e SolidWorks, a fim de elaborar os esquemas mecânicos e elétricos (SHIH, 2013).

Os materiais previstos para o protótipo incluem bobinas de cobre esmaltado, ímãs permanentes de neodímio, estrutura metálica para o quebra-molas, baterias estacionárias para armazenamento de energia, fotocélula (LDR) para acionamento automático da iluminação, LEDs de alta eficiência e componentes eletrônicos auxiliares, como diodos retificadores, capacitores e controladores de carga. A análise dos dados será feita a partir dos resultados obtidos durante os testes de geração, armazenamento e acionamento da iluminação, verificando-se a eficiência e a autonomia do sistema no período noturno (COTRIM; COTRIM, 2017).

O objeto de estudo está localizado em ambiente urbano, mais especificamente em pontos de ônibus, simulando a aplicação prática do sistema em cidades de médio porte no Brasil. Contudo, os testes iniciais ocorrerão em ambiente controlado dentro da instituição de ensino, permitindo a avaliação preliminar do desempenho do protótipo antes de uma futura

aplicação real. A pesquisa encontra-se em fase de desenvolvimento no segundo semestre de 2025, sendo que os testes de campo estão previstos para a etapa conclusiva do trabalho.

Os testes previstos incluem: (1º) teste de geração de energia, para avaliar a quantidade de energia elétrica produzida a partir do impacto de veículos simulados sobre o quebra-molas; (2º) teste de armazenamento, para verificar a eficiência das baterias em manter a carga acumulada; (3º) teste de acionamento automático, para validar o funcionamento da fotocélula no controle da iluminação; (4º) teste de iluminação, para analisar a autonomia e intensidade luminosa dos LEDs; e (5º) avaliação estrutural, para observar a resistência do mecanismo eletromecânico frente à repetição de impactos

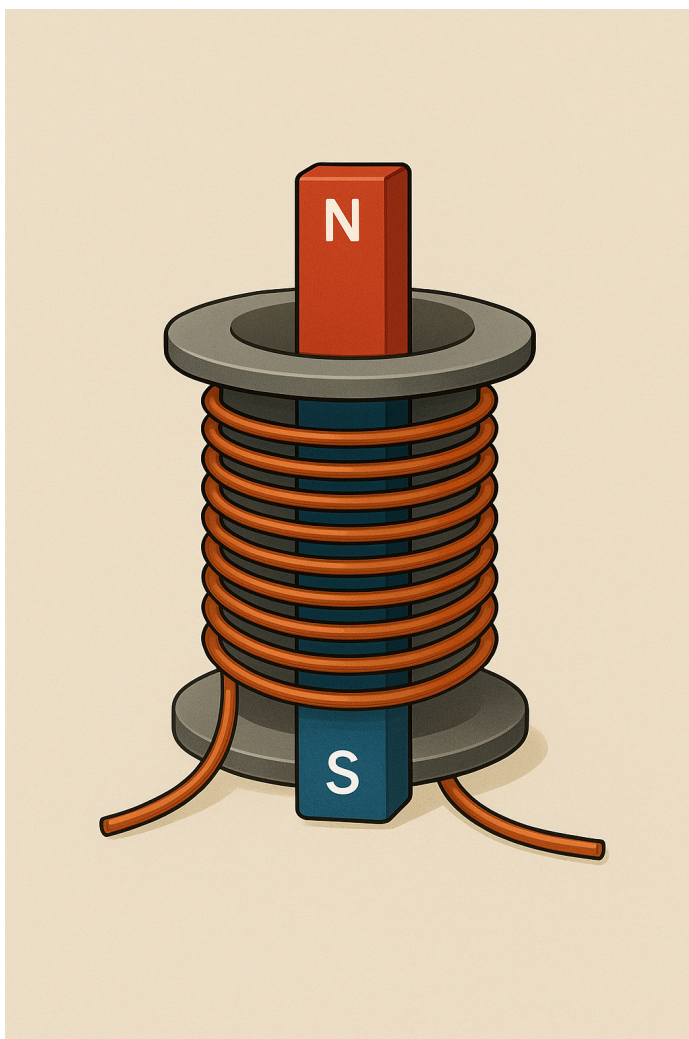
Além disso, o projeto respeita normas técnicas como a ABNT NBR 5101:2018, referente à iluminação pública, e a ABNT NBR 5410:2004, referente a instalações elétricas de baixa tensão, bem como regulamentos ligados à eficiência energética e segurança.

4.1 TIPO DE PESQUISA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa e explicativa. A abordagem qualitativa é adequada porque busca compreender os fenômenos relacionados à sustentabilidade e à eficiência energética em paradas de ônibus, valorizando a análise interpretativa e descritiva em detrimento de dados estatísticos numéricos. Segundo Minayo (2012), a pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que possibilita uma visão mais aprofundada do problema.

Além disso, o estudo possui caráter explicativo, pois procura identificar os fatores que contribuem para o funcionamento e a viabilidade do sistema proposto de geração de energia elétrica em paradas de ônibus. De acordo com Gil (2008), a pesquisa explicativa tem como objetivo central esclarecer quais elementos determinam ou condicionam a ocorrência de determinados fenômenos, aprofundando a compreensão das causas e efeitos.

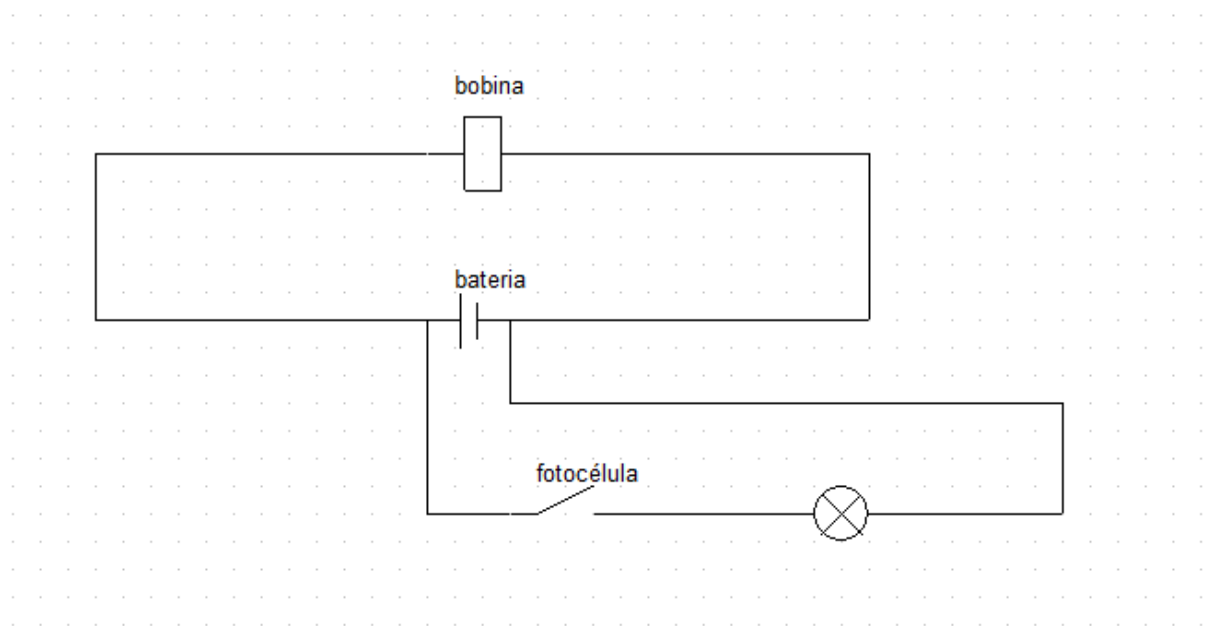
4.2 DESENHO DE PROTÓTIPO



(Imagem gerada com IA pelos autores)

O protótipo consiste em um sistema de geração de energia baseado em indução eletromagnética. Ele é formado por um carretel envolto por uma bobina de fio de cobre, no qual um ímã permanente é inserido em seu interior. Quando o ímã se desloca dentro da bobina, ocorre a variação do fluxo magnético, induzindo uma corrente elétrica nos fios de cobre. Esse princípio segue a Lei de Faraday, que demonstra como o movimento do campo magnético pode ser convertido em eletricidade. O objetivo do protótipo é mostrar, de forma prática, como é possível aproveitar o movimento para gerar energia elétrica limpa e sustentável.

4.3 ESQUEMA ELÉTRICO



O circuito apresentado consiste em um sistema de acionamento automático de uma lâmpada utilizando uma fotocélula, uma bobina de relé e uma fonte de alimentação (bateria). A fotocélula atua como um sensor de luz ambiente que, ao detectar a ausência de luminosidade (durante a noite), fecha o circuito, permitindo a passagem de corrente elétrica para a bobina do relé. Ao ser energizada, a bobina aciona o relé, que por sua vez fecha o contato responsável por ligar a lâmpada, fazendo com que esta acenda automaticamente. Durante o dia, com a presença de luz, a fotocélula interrompe o circuito, desenergizando a bobina, o relé retorna ao seu estado de repouso, e a lâmpada permanece apagada. Esse tipo de sistema é amplamente utilizado em aplicações de automação residencial e iluminação pública, por permitir o controle automático de cargas com base na variação da luminosidade ambiente, promovendo praticidade e economia de energia elétrica.

4.4 ENTREVISTA

Pergunta: Você acha que o sistema do quebra-molas que gera energia realmente funcionaria bem no dia a dia das cidades?

Resposta: Sim, em avenidas movimentadas seria muito bom esse equipamento!

Pergunta: Quais cuidados de manutenção seriam importantes para o sistema não quebrar rápido?

Resposta: Produzir equipamento de materiais muito robustos pois passarão caminhão pesado até mais 50ton.

Pergunta: Na sua opinião, o projeto com quebra-molas gerador é melhor ou pior do que usar placas solares para iluminação?

Resposta: Acredito que seriam equipamentos que somariam valor, as duas ideias são boas.

Pergunta: Como podemos testar o protótipo para ver se ele realmente gera energia suficiente?

Resposta: Deve ser implementado em uma estrada de grande fluxo de veículos.

Pergunta: Você vê algum risco para o meio ambiente ou para os carros ao usar esse tipo de quebra-molas?

Resposta: Dependerá dos materiais utilizados na sua construção.

Pergunta: Qual tipo de bateria ou armazenamento você acha mais confiável para esse sistema?

Resposta: Não tenho certeza.

Pergunta: Que melhorias poderiam ser feitas no futuro para o projeto ficar ainda mais eficiente?

Resposta: Somente testes e outras futuras ideias e tecnologias iriam dizer isto.

Pergunta: O projeto pode realmente deixar os pontos de ônibus mais seguros à noite?

Resposta: Com uma iluminação adequada, com certeza.

Pergunta: Se o tráfego de veículos for baixo em uma rua, o sistema ainda funcionaria bem?

Resposta: Seria uma melhoria a ser pensada.

Pergunta: O que poderia ser feito para aumentar a durabilidade das peças do gerador no quebra-molas?

Resposta: Robustez dos equipamentos.

Pergunta: Você acredita que esse projeto poderia ser usado em outras aplicações além de pontos de ônibus? Quais?

Resposta: Sim, em autoestrada de grande fluxo de veículos.

6. RECURSOS

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
bateria 9V	R\$16,00	1	R\$16,00	kabum	01/09/2025
LED 9V	R\$4,00	1	R\$4,00	mercado livre	01/09/2025
bobina contatora	R\$100,00	1	R\$100,00	mercado livre	01/09/2025
Placa fotovoltaica	R\$50,00	1	R\$50,00	mercado livre	02/09/2025
Valor final: R\$170,00					

7. RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS

Espera-se, como produto final da pesquisa, a construção de um protótipo funcional de quebra-molas gerador, capaz de transformar a energia mecânica proveniente da passagem de veículos em energia elétrica. Essa energia será utilizada para alimentar sistemas de iluminação em pontos de ônibus urbanos, garantindo maior conforto e segurança à população.

O dispositivo deverá operar de forma autônoma, por meio de uma bateria estacionária e de um sensor de luminosidade, responsável pelo acionamento automático das lâmpadas apenas em horários noturnos ou em locais com baixa iluminação. Assim, busca-se garantir eficiência energética, sustentabilidade e praticidade no uso cotidiano.

Nos aspectos sociais e econômicos, o sistema pode contribuir para a redução dos gastos públicos com energia elétrica, ao mesmo tempo em que promove maior segurança para os usuários do transporte coletivo, especialmente em regiões periféricas ou pouco iluminadas.

No âmbito ambiental, a proposta incentiva o uso de energia limpa e renovável, diminuindo a dependência de fontes poluentes e aproveitando recursos já presentes no cotidiano urbano, como o tráfego de veículos.

O projeto mostra-se viável, pois utiliza materiais de fácil acesso e baixo custo, além de poder ser desenvolvido dentro do tempo e dos recursos disponíveis para esta pesquisa. Espera-se que o protótipo seja capaz de manter iluminado um ponto de ônibus durante toda a noite, com manutenção simples e funcionamento seguro.

Reconhece-se, contudo, que alguns desafios podem surgir, como o desgaste natural do sistema devido ao uso constante e a necessidade de realizar testes práticos para avaliar sua real eficiência em diferentes condições de tráfego e clima.

REFERÊNCIAS

- **ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Normas técnicas aplicadas a sistemas elétricos e sustentáveis. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 28 ago. 2025.
- **ADELA, A. C.** Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- **ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Cartilha de eficiência energética. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- **BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME).** Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme>. Acesso em: 3 set. 2025.
- **GIL, Antonio Carlos.** Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- **IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.** Energy Efficiency 2023. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 1 set. 2025.
- **IEEE XPLORE.** Artigos sobre geração de energia por indução eletromagnética. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/>. Acesso em: 18 jul. 2025.

- **ITDP BRASIL – INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO.** Transporte sustentável e mobilidade urbana. Disponível em: <https://itdpbrasil.org/>. Acesso em: 23 mar. 2025.

- **MINAYO, Maria Cecília de Souza.** O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2012.

- **ONU-HABITAT.** Relatório mundial sobre assentamentos humanos. Nairobi: UN-Habitat, 2022. Disponível em: <https://unhabitat.org/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

- **PMC.** Article 1. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11264800/>. Acesso em: 3 set. 2025.

- **PMC.** Article 2. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12121230/>. Acesso em: 3 set. 2025.

- **SCIENCEDIRECT.** Article. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077291X24000328>. Acesso em: 3 set. 2025.

- **SMART CITY BUSINESS AMERICA INSTITUTE.** Relatórios de cidades inteligentes. Disponível em: <https://scbacademy.org/>. Acesso em: 17 abr. 2025.

- **WORLD BANK BLOGS. All too often, transport for women are an afterthought. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/en/transport/all-too-often-transport-women-are-afterthought>. Acesso em: 30 maio 2025.**

ANEXOS