



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**INSTITUTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS E ENERGIA**  
**INTRODUÇÃO À ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANA PAULA SIQUEIRA ROSA – 2019014345  
GUILHERME MARQUES PEREIRA - 2019015164  
ISABEL CABRAL LEITE VERRI - 2019015182  
LUCAS RUSSO SEYDELL - 2019012322  
MARIA EDUARDA GOMES VELOSO – 2019014354  
MARIANY RIBEIRO DE CARVALHO – 2017020586  
RAFAELA BARBOSA SUGAI – 2019015511  
THALLIA FERNANDA DIAS FAGUNDES – 2019015217  
THIAGO DUARTE PEREIRA - 2019015119

**PIEZOELÉTRICO**

ITAJUBÁ – MG  
2019

ANA PAULA SIQUEIRA ROSA – 2019014345  
GUILHERME MARQUES PEREIRA - 2019015164  
ISABEL CABRAL LEITE VERRI - 2019015182  
LUCAS RUSSO SEYDELL - 2019012322  
MARIA EDUARDA GOMES VELOSO – 2019014354  
MARIANY RIBEIRO DE CARVALHO – 2017020586  
RAFAELA BARBOSA SUGAI – 2019015511  
THALLIA FERNANDA DIAS FAGUNDES – 2019015217  
THIAGO DUARTE PEREIRA - 2019015119

## **PIEZOELÉTRICO**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Itajubá, como requisito parcial para obtenção de nota do 1º semestre da disciplina de Introdução à Eng. Elétrica do Curso de Eng. Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Ribeiro

ITAJUBÁ - MG

2019

## RESUMO

O relatório expõe o que foi realizado durante a matéria de Introdução à Engenharia Elétrica, durante o 1º Período do Curso, orientado pelo Prof. Dr. Paulo Ribeiro. A matéria foi constituída de um conjunto de palestras apresentadas por professores que em maioria compõem o corpo docente da Universidade Federal de Itajubá, o que auxiliou na estruturação do Projeto sobre Placas Piezoelétricas, da equipe EletroGreen. O projeto foi formulado a partir do fato de que o Brasil é o país líder em pesquisas sobre o assunto do “piso”, que converte a energia mecânica (da pressão dos passos das pessoas) em energia elétrica, e sobre demais materiais que tem tais características. Além disso, há o fato de tal forma de produção de energia ser limpa e sustentável, que era a proposta inicial feita pelo Prof. Paulo. Com o avanço da pesquisa sobre tal temática percebeu-se que tal forma de produção possui baixa geração de energia comparada com outras, além de ter como desvantagem o fato de ter difícil manutenção, apesar de ser uma tecnologia didática e inovadora, assim como potente quando utilizada com outras formas de produção, a exemplo, com as termoelétricas. O Prof. Zambroni, interessou-se na parte didática do Projeto, que pretende ser posteriormente implementado no Campus Prof. José Rodrigues Seabra – UNIFEI, em frente ao instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE).

Palavras-chaves: Piezo-elétrico; Energia Sustentável; Energia Limpa; Inovação.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	7
2.1 ARTIGO “Our English Syllabus” .....	7
2.3 GUERRA DAS CORRENTES .....	8
2.4 AULA 1 – Introdução a Engenharia Elétrica .....	10
2.5 AULA 2 – Conceitos .....	11
2.6 AULA 3: Corrente Trifásica.....	21
2.7 Palestra do Cord. E Prof. Maurício Passaro.....	22
2.8 Resumo da Palestra do Prof. Zambroni .....	31
2.9 Resumo – Palestra Professor Paulo Ribeiro .....	36
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	40
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	43
<b>6 REFERÊNCIA</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil procura intensamente por energias renováveis e limpas, desta forma, a ideia do piso elétrico seria um projeto que, se mais profundamente estudado, se adequaria ao requisitos necessários.

A força que é feita por nós, para andarmos, por exemplo, gera um choque mecânico em decorrência do contato e velocidade aplicada, sobre o solo. Alguns materiais tem a capacidade de ficarem polarizados quando submetidos a uma compressão (como Cristais de Quartzo, Óxido de zinco, PZT (Titanato Zirconato de Chumbo) e logo podem transformar essa força mecânica em energia elétrica. Estes são chamados de materiais piezoelétricos, já que a palavra Piezo vem do grego, “piezein”, que significa pressionar.

Os materiais “piezoelétricos” já são amplamente aplicados em certos instrumentos no dia a dia, como em transdutores de ultrassom, umidificadores de ar, balanças de precisão e, além disso, há locais em que o piso é utilizado, como em boates (Figura 1), estradas, roupas de militares, entre outros.



(Figura 1: Boate na Inglaterra, em que a pista é constituída de materiais piso elétricos.)

Neste contexto, se insere o Projeto de Sustentabilidade, proposto por nós, equipe Eletrogreen, e orientado pelo Prof. Paulo Ribeiro, que é desenvolver um tapete que utiliza a força peso, através da compressão de geradores eletromagnéticos, que poderia ser introduzidos na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Antes de introduzirmos o trabalho, contaremos uma breve história da “piezoelectricidade”. Pierre Currie, parisiense, nasceu em 15 de maio de 1859; filho de um médico geral. Recebeu estudo em domicílio e posteriormente ingressou na “Faculty of Sciences” (Faculdade de Ciências) em Soorbone. Deu início a sua carreira profissional em 1878, ao se tornar licenciado em Física; em 1904 ele já havia se tornado Professor titular, na mesma faculdade em que havia se formado.

Além da piezoelectricidade e do magnetismo, Pierre também realizou estudos no campo da radioatividade, com auxílio de sua esposa, Marie Curie. Descobriram juntos a existência do rádio e do polônio por fracionamento, em 1898 e receberam, como consequência de pesquisas sobre radiação espontânea, metade do Prêmio Nobel em 1903. A outra metade ficou com Becquerel, descobridor de tal temática.

Pierre Curie recebeu a Medalha Davy da Royal Society of London em 1903 e em 1905 foi eleito para a Academia de Ciências; após um ano, em 19 de abril, foi morto em um acidente em Paris.

No final de 1870, Pierre e seu irmão Jacques iniciaram seus estudos com cristalografia, observando o potencial elétrico que era gerado a partir de uma mudança na temperatura do cristal. Com isso, eles começaram a pesquisar se tal fenômeno mantinha conformidade direta com a compressão mecânica, vendo se as propriedades piezoelétricas se aplicavam nos materiais estudados. Dessa maneira, com base em suas análises, descobriram que, com a pressão exercida nesses cristais, formava-se um potencial elétrico, dando origem à piezoelectricidade.

Após essa descoberta, o matemático Gabriel Lippman, fazendo estudos sobre esse tema, pôde concluir que o piezoelétrico tinha um efeito contrário, o que foi confirmado pelos Curie's mais tarde.

Em 1910, Woldemar Voigt escreveu sobre a temática, em um livro "*Lehrbuch der Kristallphysik*", no qual é dissertado dezoito prováveis fatores piezoelétricos, em alta escala, em sólidos cristalinos. Essa pesquisa abriu brechas para novas descobertas, tais como os transdutores ultrassônicos, produzidos por Paul Langevin e o ponto Curie, que foi descoberto pelo Pierre, sendo tal lei responsável pela temperatura que provoca mudança nas propriedades magnéticas de uma certa matéria.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para a realização do trabalho foi necessário adquirir conhecimentos científicos obtidos por pesquisas, aulas e palestras. Isso foi feito através da plataforma Web of Science, ensinada em conjuntura com a professora Betânia Mafra na disciplina de Linguagem e Comunicação, possibilitando uma pesquisa bibliométrica sobre o assunto do projeto.

Também contou com a ajuda do Prof. Zambroni, que auxiliou o andamento do projeto, fornecendo materiais sobre o “piezo elétrico” e uma possível transformação do projeto em protótipo.

### **2.1 ARTIGO “Our English Syllabus”**

Baseado no artigo “Our English Syllabus”, escrito pelo professor Clive Staples Lewis e disponibilizado pelo Prof. Dr. Paulo Fernando Ribeiro, apresentamos o resumo feito pela nossa equipe, possuindo como tema central a diferença entre a verdadeira educação, pela qual os professores lutam, e o treinamento vocacional, o qual é disseminado pela sociedade.

Lewis, baseado na teoria de Milton sobre a proposta da educação, afirma que esta seria um veículo para adaptar e inserir os indivíduos na sociedade, tanto no ambiente público quanto privado. Ainda acrescenta, que Aristóteles adicionaria a esta teoria, a importância da educação para momentos de lazer (relacionados aos conhecimentos sobre arte, literatura e conversação) e para se criar um “bom” homem; o que, de acordo com o livro, significaria um indivíduo interessante que busca pelo conhecimento e que possui contentamento próprio. Simultaneamente, o autor destaca o papel do “treinamento vocacional”, que não molda o homem para o mundo, somente o treina para desempenhar determinada profissão (de certa forma escravizando-o, já que não possui liberdade para ir além do que foi lhe ensinado); destacando porém, que ambos, educação e treinamento, são essenciais e devem ser empregados para que possa ocorrer o desenvolvimento da sociedade, o qual permanece em constante risco, já que tais fatos implicam na ruína de civilizações.

Ainda, Lewis faz uma comparação entre homens e animais, os quais não possuem lazer, e são comparados com máquinas. Também, é exaltado o “status” do aluno como um “candidato para humano”, já que este ainda não possui educação (a qual seria aplicada pelo mestre já “humano”) e é feita uma analogia do professor (médico) e do pupilo (paciente). Assim, se esclarece a diferença entre os conceitos de educação e aprendizagem, ratificando o fato de que só seria possível o aprendizado, a partir da assimilação da primeira. Porém, a sociedade prioriza a profissionalização, o que acarretaria num cenário em que o “treinamento fosse para todos e a educação para ninguém .”

O autor deixa claro o ideal de objetivo das Universidades, que não seria o uso da aprendizagem (visto que o aluno já é “humano”), mas sim, da educação, baseada no suporte e incentivo por parte da instituição para a busca por mais conhecimento. O educador é “porta voz” do “saber”. Seria de escolha do estudante, aprender somente a grade (que representa frações da realidade, escolhidas pela instituição), ou, aprender mais, se aperfeiçoando e visando uma futura busca por conhecimento e maior formação em qualquer área que deseje, sendo o ideal conhecer pelo menos um pouco de tudo (assim como citada na definição de “Escola Composta”), tendo uma visão ampla da realidade, nua e crua.

Após defender sua teoria, propõe a aplicação desta nas Escolas de Inglês. Que não deveriam ter Filosofia, História e Psicologia na grade, em razão de certos autores terem sido inspirados por tais conhecimentos, mas sim por representarem uma importante parte da realidade, sendo essenciais para a Língua Inglesa. À medida que é disponibilizado um menu (grade) de cursos, alguns alunos podem se sentir limitados, porém, para outros isso pode ser útil na medida que eles ainda não têm ideia do que estudar e querem ter disponível uma variedade na escolha. Lewis destaca, o fato de ser impossível obter todo o conhecimento, porém, dá ênfase na maneira como os assuntos são escolhidos para serem estudados infinitamente.

### **2.3 GUERRA DAS CORRENTES**

A Guerra das Correntes, também conhecida como Batalha das Correntes, foi um conflito que aconteceu nos Estados Unidos durante as últimas décadas do século

XIX entre Thomas Edison (defensor da corrente contínua) e Nikola Tesla (defensor da corrente alternada).

**Thomas Edison** (1847-1931), nascido em Milan, no estado de Ohio (EUA), teve ao longo de sua vida um total de 1033 patentes, incluindo a criação da lâmpada elétrica e de um sistema de transmissão de energia elétrica por corrente contínua (CC).

**Nikola Tesla** (1856-1943), nascido na aldeia de Smiljan, durante o Império Austro-húngaro, na atual Croácia, também contribuiu muito para as tecnologias mais importantes do século XIX, porém teve destaque na criação da transmissão de energia elétrica por corrente alternada (CA).

Nos primeiros anos de fornecimento de eletricidade, nos EUA, a distribuição de energia por CC foi estabelecida como padrão e uma de suas principais vantagens era o alto rendimento com lâmpadas incandescentes e motores, além disso Edison também inventou um medidor que permitia que a energia fosse cobrada proporcionalmente ao consumo. No entanto, com a criação da CA, o uso de CC, como distribuidora de eletricidade foi perdendo suas forças, principalmente pelo fato de que com o aumento de uso de energia, para sustentar o tipo de corrente contínua, seria necessária uma usina para cada bairro, porém com o tipo de corrente alternada passou a ser possível transportar energia em longas distâncias

Durante a guerra das correntes, Edison realizou uma campanha para desestimular o uso da CA, divulgando notícias de acidentes fatais e até mesmo sacrificando animais envolvendo a CA. Apesar disso, as práticas menos honestas não impediram que a Guerra das Correntes fosse vencida pela CA, que tem sido, desde essa época e em todo o mundo, a plataforma padrão utilizada para o transporte de eletricidade.

### **Reflexão sobre parcerias**

Segundo Prof. Paulo Ribeiro, em sua reflexão sobre parcerias, o trabalho em equipe é fundamental para o crescimento profissional e, conseqüentemente, para o desenvolvimento humano. O professor afirma que são nas Universidades que se pode vivenciar a oportunidade de escrever e desenvolver pesquisas com o apoio de outras pessoas.

No início de seu texto, faz uma breve contextualização com os tempos medievais, relatando que os estudiosos da época pesquisavam assuntos científicos

de outros pesquisadores, a fim de editá-los e/ou incrementá-los. O que enfatiza o objetivo de uma equipe: várias pessoas investindo em um mesmo conteúdo e assim melhorando este ao máximo.

Hoje em dia, porém, isso não acontece com tanta frequência; o professor destaca que as próprias Universidades estimulam no profissional o individualismo e a mediocridade. O mestre ainda questiona se seria possível retificar essa infeliz cultura.

Dessa maneira, ele defende que a relação interpessoal é fundamental para todos os estudantes, colocando uma frase de Newton que confirma sua convicção: "Se eu vi mais, é apenas ficando de pé sobre os ombros dos gigantes". Dessa forma, o docente conclui, descrevendo experiências pessoais, o que ratifica a contribuição que tal fator teve nas suas metas já atualmente atingidas.

## **2.4 AULA 1 – Introdução a Engenharia Elétrica**

Segundo o prof. Paulo Ribeiro, em sua primeira aula de introdução à eng. elétrica, atualmente, existem mais de 100 tipos de engenharia, levando a 250 títulos diferentes.

A SESU (Secretaria de Educação Superior) criou divisões para agrupar as engenharias na tentativa de diminuir os tipos de formação. A CONFEA concedia 96 títulos profissionais, porém o MEC, por meio de projetos, tenta reduzir para 22 nomes.

Em cada título há a possibilidade de se trabalhar em diversas áreas, como por exemplo, um engenheiro eletricitista pode trabalhar com eletrônica industrial e um engenheiro civil pode trabalhar com ferrovias e projetos de construção.

### **Grade**

Em 2012 a grade curricular do curso de Engenharia Elétrica da UNIFEI sofreu modificações (figura 1).

Períodos e disciplinas:

- 1º e 2º: ciclo básico, onde se aprende cálculo, geometria analítica e álgebra linear, metodologia científica e introdução a engenharia elétrica;
- 3º e 4º: ainda fazendo parte do ciclo básico, conta com algumas matérias específicas para o curso, como eletrônica e circuitos;

- Do 5º período em diante as disciplinas do curso começam a dar mais ênfase ao curso de elétrica, contando com matérias de sistemas, instalações e materiais elétricos, por exemplo;
- “10º”: estágio;
- Optativas: são matérias para “especializar” o aluno dentro da sua formação. São ofertadas a partir do 3º período, mas não estão disponíveis em todos.

Figura 1

1º período	2º período	3º período	4º período	5º período	6º período	7º período	Programa de Formação em Engenharia Elétrica		optativas
							8º período	9º período	
MAT001 - 96h Cálculo I	MAT002 - 64h Cálculo II	MAT003 - 64h Cálculo III	MAT012 - 64h Cálculo Numérico	FIS503 - 64h Física Geral IV	EME205 - 64h Fenômenos de Transporte	QUI102 - 64h Química Geral	MAT013 - 64h Probabilidade e Estatística	EEL912 - 48h Subestações	ADM082 - 48h Criação de Novos Negócios
MAT011 - 64h Geometria Analítica e Álgebra Linear	ELE204 - 64h Álgebra Linear Aplicada	MAT021 - 64h Equações Diferenciais I	MAT022 - 64h Equações Diferenciais II	FIS513 - 16h Física Experimental IV	ELE606 - 64h Conversão Eletromecânica de Energia II	QUI112 - 16h Química Experimental	EEL801 - 64h Análise de Sistemas de Energia Elétrica II	EEL903 - 64h Estabilidade de Sistemas de Potência	ADM083 - 64h Introdução ao Empreendedorismo
FIS104 - 32h Metodologia Científica	FIS213 - 16h Física Experimental I	FIS303 - 64h Física Geral II	FIS403 - 64h Física Geral III	FIS502 - 64h Eletromagnetismo	EEL057 - 16h Laboratório de Conversão II	EEL701 - 64h Análise de Sistemas de Energia Elétrica I	EEL804 - 64h Proteção de Sistemas Elétricos	EEL809 - 48h Distribuição de Energia Elétrica	ELE731 - 32h Técnicas de Alta Tensão
FIS114 - 16h Laboratório de Metodologia Científica	FIS203 - 64h Física Geral I	FIS313 - 16h Física Experimental II	FIS413 - 16h Física Experimental III	EEL503 - 48h Modelagem e Análise de Sistemas Dinâmicos	EEL602 - 32h Instrumentação	EME801 - 48h Geração de Energia Elétrica	EEL805 - 48h Condicionamento de Energia	EEL913 - 48h Acionamentos Elétricos	ELE741 - 32h Práticas de Técnicas de Alta Tensão
ELE103 - 64h Fundamentos de Programação I	ELE202 - 64h Fundamentos de Programação II	EME311 - 64h Mecânica dos Sólidos	EME402 - 48h Dinâmica dos Sólidos I	ELE506 - 64h Conversão Eletromecânica de Energia I	EEL605 - 48h Instalações Elétricas	EEL703 - 48h Transmissão de Energia Elétrica	EEL702 - 64h Eletrônica de Potência I	EPR002 - 48h Organização Industrial e Administração	EEL059 - 48h Eficiência Energética em Sistemas Elétricos
BAC002 - 64h Comunicação e Expressão	DES201 - 64h Desenho Técnico Básico	EEL301 - 64h Eletrotécnica Geral I	ELE401 - 48h Circuitos Magnéticos	EEL056 - 16h Laboratório de Conversão I	EEL615 - 16h Laboratório de Instalações Elétricas	EEL704 - 48h Qualidade de Energia Elétrica	EEL712 - 16h Eletrônica de Potência Experimental I		TE5903 - 48h T. E. em Sis. Elétricos de Potência III
ELE101 - 48h Introdução à Engenharia Elétrica	EEL203 - 64h Introdução à Análise de Circuitos	EEL311 - 16h Eletrotécnica Geral e Experimental I	ELE402 - 48h Circuitos Polifásicos	ELE505 - 48h Medidas	ECA602 - 64h Sistemas de Controle	ECA703 - 32h Automação de Sistemas	EEL037 - 48h Materiais Elétricos		EEL305 - 64h Instalações Elétricas Industriais
	ELE211 - 16h Laboratório de Introdução à Análise de Circuitos	ELT303 - 64h Eletrônica Analógica I	ELE411 - 16h Lab. de Circuitos Magnéticos e Polifásicos	ELE515 - 16h Laboratório de Medidas	ECA612 - 16h Laboratório de Sistemas de Controle	ECA713 - 32h Práticas de Automação de Sistemas	EPR003 - 48h Engenharia Econômica		EEL035 - 64h Confabilidade de Sistemas Elétricos
	SOC002 - 48h Ciências Humanas e Sociais	EELT313 - 16h Laboratório de Eletrônica Analógica I	ELT403 - 48h Eletrônica Analógica II	ELT502 - 48h Eletrônica Digital I	EEL049 - 64h Segurança no Trabalho	ECA704 - 32h Sistemas de Controle Digital	EAM002 - 64h Ciências do Ambiente		ELE936 - 64h Otimização Aplicada a Sistemas Elétricos Potência
		ELT413 - 16h Laboratório de Eletrônica Analógica II	ELT512 - 16h Laboratório de Eletrônica Digital I	ELT512 - 16h Laboratório de Eletrônica Digital I	EEL604 - 48h Transistórios Elétricos	ECA714 - 16h Práticas de Sistemas de Controle Digital		Trabalho Final de Graduação 128h	
					EEL614 - 16h Práticas de Transistórios Elétricos	ECN001 - 48h Economia		Estágio Supervisionado 360h	

Fonte: prof. Maurício Passaro

## 2.5 AULA 2 – Conceitos

De acordo com o material disponibilizado pelo prof. Paulo Ribeiro, iremos expor alguns conceitos contidos no curso de elétrica:

- **D.D.P**

A d.d.p é a diferença de potencial entre dois pontos, ou seja, a d.d.p de 1 Volt (V) significa gastar uma energia de 1 Joule (J) para transportar uma carga de 1 Coulomb (C) de um ponto 'A' para um ponto 'B'.

- **Força Eletromotriz (f.e.m)**

Em um gerador, a força eletromotriz é a responsável pela corrente existente em um circuito, ou seja, mover a carga elétrica por este.

Tipos de f.e.m.: existem vários tipos de fontes de força eletromotriz, tais como:

- Fontes de f.e.m diretas, onde a corrente gerada é contínua ;
- Fontes de f.e.m. alternadas, onde a corrente gerada é alternada;
- f.e.m. produzida por atrito;
- f.e.m. por indução;
- f.e.m. produzida por reações químicas.

### **f.e.m por Indução**

Faraday verificou que, enquanto ele aproximava o ímã da espira (Figura 1.0), a agulha do amperímetro se deslocava para um determinado lado (admitindo que ele estivesse trabalhando com um amperímetro de zero central), o que significava que havia aparecido no circuito uma corrente elétrica induzida. No momento em que Faraday parou de movimentar o ímã, ele notou que a corrente através do circuito se anulava. Em uma terceira etapa, afastando o ímã da espira, o físico inglês viu a agulha do amperímetro novamente se deslocar, só que para o lado oposto, sinal de que havia surgido, outra vez no circuito, uma corrente induzida de sentido contrário àquele com a qual ela havia aparecido na primeira vez.

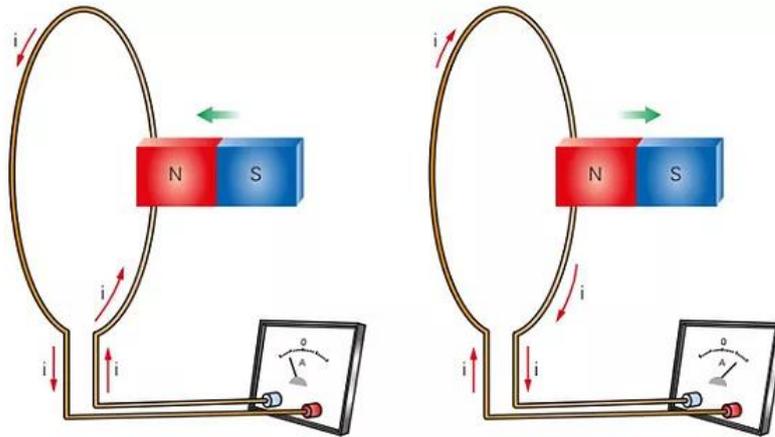
Com base nesta e em outras experiências realizadas, Faraday concluiu que:

**"Sempre que houver variação do fluxo magnético através de uma espira, surgirá nesta espira uma força eletromotriz induzida (f.e.m)."**

A este fenômeno dá-se o nome de "Indução Eletromagnética".

Da experiência desenvolvida por Faraday é necessário destacar que, para que surja uma f.e.m. induzida no circuito, não é necessário somente a existência de um fluxo magnético através da espira, mas sim o fato de que este fluxo deve variar no decorrer do tempo.

Figura 2



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

- **Lei de Lenz-Faraday**

Enunciado: **“Sempre que houver variação do fluxo magnético através de um circuito surgirá neste uma força eletromotriz induzida. Se o circuito for fechado circulará uma corrente induzida cujo sentido será tal que tenderá a se opor às variações do fluxo que lhe deu origem”.**

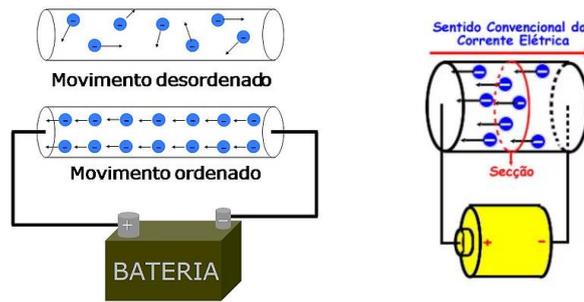
Expressão Matemática:

$$\varepsilon = -\Delta\Phi/\Delta t \text{ (V)} \quad (1)$$

- **Corrente**

Fluxo ordenado de elétrons em relação ao tempo. O sentido da corrente elétrica é oposto ao do fluxo de carga (Figura 3).

Figura 3

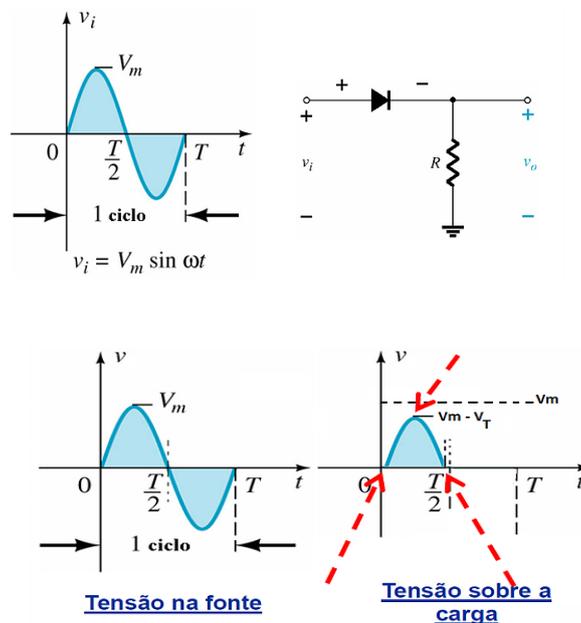


Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

- **Retificadores**

O processo de retificação (Figura 4) consiste em transformar um sinal AC em um sinal DC (ainda que pulsante). Uma vez que o diodo conduz em apenas um semiciclo, o sinal sobre a carga é um sinal DC (ainda que pulsante). Dependendo dos valores das tensões envolvidas e da resistência de carga deve-se avaliar qual o melhor modelo do diodo a ser utilizado. Normalmente, o modelo simplificado é o mais indicado para a maioria dos circuitos práticos.

Figura 4



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

## Topologia clássica para retificadores de Meia Onda

Relação entre as tensões de um transformador (Figuras 5 e 6):

Entrada:  $V_1$  e  $N_1$

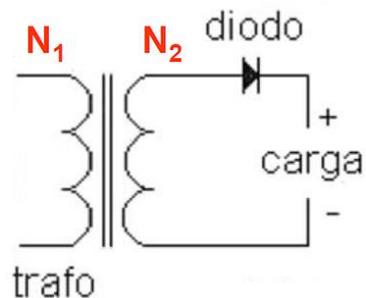
Figura 5

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

Saída:  $V_2$  e  $N_2$

Figura 6



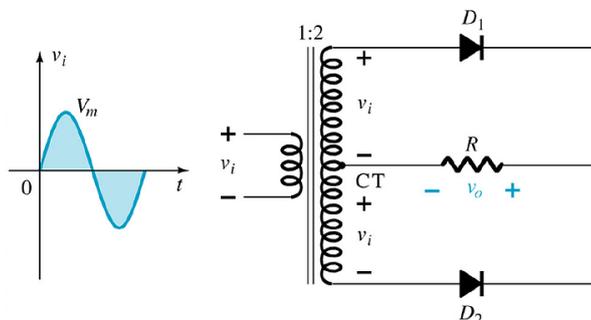
Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

A função do Transformador é fornecer um nível de tensão menor para o retificador (pico da rede AC é de  $\approx 180V$ ) e atuar como um isolador (o acoplamento entre secundário e primário é feito através de um circuito magnético).

## Retificador de Onda Completa (Transformador com Derivação Central)

Este tipo de retificador apresenta dois diodos somente, mas requer um transformador com derivação central (center tap – CT) para estabelecer o sinal de entrada em cada seção do secundário do transformador (Figura 7).

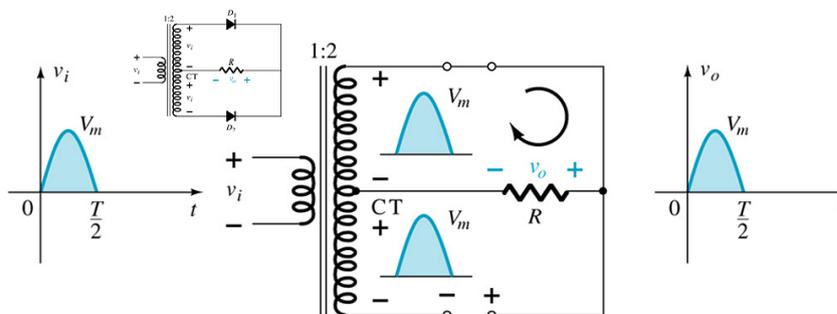
Figura 7



Fonte: Paulo Ribeiro

Durante a porção positiva de  $v_i$  (primário do transformador), o diodo  $D_1$  assume o curto-circuito equivalente, e  $D_2$ , o circuito aberto equivalente, conforme determinado pelas tensões no secundário e pelos sentidos das correntes resultantes, como pode ser visualizado na figura 8.

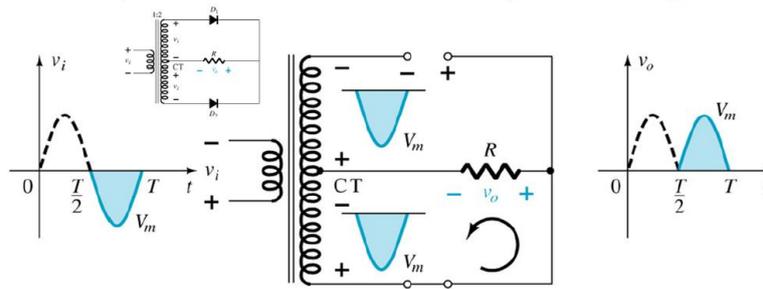
Figura 8



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

Durante a porção negativa de  $v_i$  (primário do transformador), há a inversão das funções dos diodos ( $D_1$  assume o aberto equivalente, e  $D_2$ , o curto-circuito equivalente), mas com a mesma polaridade da tensão através do resistor de carga  $R$  (Figura 9).

Figura 9



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

- **Medidor**

O medidor do tipo eletromecânico é mais antigo e seu funcionamento se baseia na indução eletromagnética. Este tipo de medidor tem um disco de metal que gira quando a eletricidade passa pelas bobinas, gerando um campo magnético. Este campo só vai impulsionar o disco girando-o quando a energia está sendo consumida. E nestas condições, acontece o movimento da engrenagem e dos ponteiros do medidor, fazendo assim, a medição correta da energia consumida.

A velocidade de rotação do disco está diretamente relacionada com o campo magnético. Portanto, quanto mais forte for o campo magnético, mais rápido o disco vai girar e, assim, mais energia será consumida. Apesar de ser o tipo de medidor mais antigo no mercado, continua sendo muito eficaz, seguro e usado por diversos países ao redor do mundo.

### **Novo Medidor de Energia**

O novo medidor de energia elétrica passa a apresentar os gastos em termos financeiros, ao invés de mostrar o número de kW/h gastos pelo consumidor. Dessa maneira, será possível realizar um controle mais eficaz dos gastos mensais e evitar valores abusivos no fim do mês. O novo aparelho apresentará também três cores em seu visor, para demonstrar o parâmetro de consumo naquele determinado instante.

Com relação aos horários de pico, em que os níveis de consumo de energia são elevados, o dispositivo informará qual o momento adequado para se ligar qualquer

aparelho (em especial os que possuem uma alta demanda energética). Ao longo do dia, serão emitidas tarifas para informar ao consumidor seu gasto diário.

Por se tratar de um equipamento moderno, as leituras mensais de energia serão feitas diretamente da central da distribuidora, agilizando o serviço e economizando tempo para tal fato. Desse modo, é possível estabelecer uma conexão direta entre o cliente e a empresa de energia elétrica. Além de todos os benefícios, o “medidor inteligente” irá apresentar as quedas de energia e a frequência de oscilação da rede elétrica.

### **Medidor eletrônico**

Medidor eletrônico (Figura 10) é um equipamento contemporâneo que vem ganhando mais visibilidade no mercado. Seu funcionamento está ligado ao meio digital, no qual não é preciso haver um profissional para medir a quantidade de energia elétrica utilizada por uma residência, por exemplo, e enviar para central, visto que seu próprio mecanismo é configurado para fazer esse serviço. O que gera, conseqüentemente, mais lucro para as empresas.

Além disso, há outras funcionalidades operadas por esse medidor, como a medição multiparamétrica e medição de potências instantâneas consumidas concomitantemente.

Figura 10

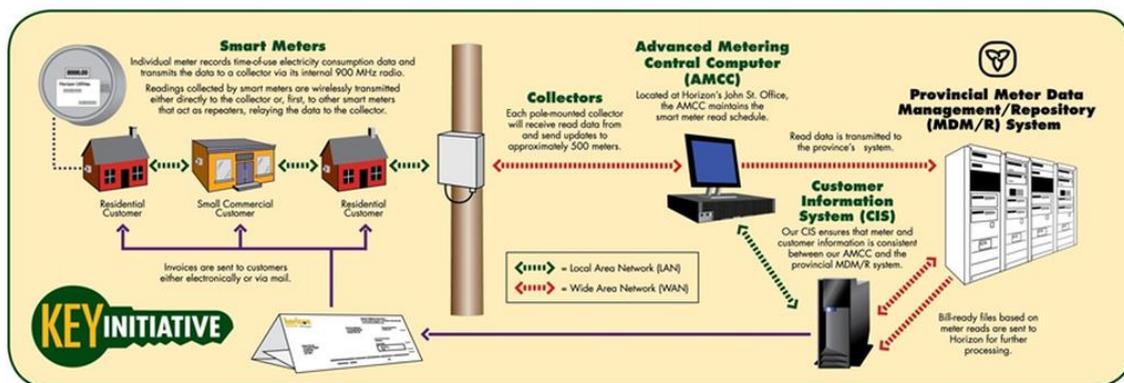


Fonte: Energisa.com.br

### **Medidor Inteligente**

As “smart grids” são redes inteligentes de energia que estão ganhando a sociedade por serem muito eficientes e por representarem uma forma de sustentabilidade moderna. Nesse breve contexto, é de grande relevância mencionar que esse sistema só é possível, graças ao medidor eletrônico inteligente que gerencia o funcionamento dessas redes, uma vez ele é mais moderno que os demais; contendo ferramentas que enviam eventos e alarmes de consumos elétricos, de desligamentos e de ligamentos energéticos para a central, além de poder realizar a aferição remota elétrica, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

- **Desfibrilador**

O desfibrilador é um equipamento médico que descarrega correntes na parede torácica e no coração, sendo utilizado para corrigir o ritmo cardíaco. Porém, deve-se atentar à corrente limite de fibrilação para obter o resultado almejado, assim como ao tempo em que ela é aplicada.

### Consequências maléficas da corrente elétrica no corpo humano

Dependendo da intensidade e do tempo em que ela é aplicada pode acarretar em inúmeras complicações, como:

- Inibição dos centros nervosos, podendo ocasionar uma parada respiratória;

- Alteração no ritmo cardíaco tendo como consequência uma parada cardíaca, caso seja aplicada uma corrente de 15mA durante 1/4 de segundo;
- Queimaduras, acarretando a morte de tecidos, ossos, músculos e órgãos;
- Alteração do sangue, em razão de efeitos térmicos eletrolíticos;
- Contrações musculares (podendo ocorrer a asfixia se a corrente for de 30mA e percorrer o corpo por volta de 14 segundos);
- Retenção sanguínea;
- Derretimento de ossos e cartilagens;
- Edema;
- Isquemia;
- Síndrome de Mendelson (que pode ocorrer em fetos durante a gestação).

As complicações citadas acima podem ser ainda mais graves se a resistência for menor e logo, a passagem da corrente elétrica for facilitada, o que pode ocorrer se o corpo humano estiver em contato com a água. Pessoas com 50 kg ou mais suportam uma corrente (i) igual a:  $i = 0.116/\sqrt{t}$ , com t variando entre 0,03 a 3s.

### **Como ocorre a descarga elétrica dos raios no corpo humano e como se prevenir**

O raio ocorre devido a diferença de potencial entre nuvens ou entre uma nuvem e a terra, quando ocorre o rompimento do dielétrico (no caso o ar), sendo assim mais fácil ocorrer a descarga em locais mais altos. Logo é adequado seguir alguns conselhos:

- Juntar as pernas, diminuindo a diferença de potencial;
- Em caso de campo aberto, deitar-se no chão;
- Evitar caminhar perto de árvores, ou em caso de chuvas, evitar abrigar-se em baixo delas;
- Permanecer dentro dos veículos (já que estes funcionam como uma “Gaiola de Faraday”);
- Não usar objetos metálicos (como pulseiras, anéis e brincos) pois podem ocasionar queimaduras.

## 2.6 AULA 3: Corrente Trifásica

- **O que é?**

Forma mais comum de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica em corrente alternada.

- Possuem três grupos de bobina que são chamadas de fases.

- A energia é gerada por indução eletromagnética.

### **Funcionamento:**

Um ímã gira ao redor de três bobinas fixas distribuídas espacialmente em  $120^\circ$ . O movimento do ímã com velocidade constante resulta em três tensões alternadas monofásicas independentes de igual amplitude e frequência.

- Entre fase e neutro é chamada tensão simples.

- Entre fase e fase é chamada tensão composta.

A tensão composta é raiz de 3 vezes maior que a simples.

### **Vantagens:**

- Econômico na transmissão e distribuição de energia;

- Ocupa menos espaço e é menos caro que um alternador monofásico;

- Potência constante;

- Dão saída estável.

### **Aplicação:**

- Altamente utilizado em indústrias

- As conexões estrela-triângulo são determinadas pela forma como são conectadas as bobinas de um gerador, motor ou transformador de fornecimento de energia, podendo,

no caso da conexão estrela, ter acesso ao neutro, com a finalidade de auxiliar na resolução de circuitos complexos

### **Conexão Estrela**

A conexão estrela ocorre quando os extremos de cada fase são unidos formando o terminal neutro

Os sistemas trifásicos, em estrela, podem ser formados por 3 condutores (R, S, T) ou por 4 condutores (R, S, T, N). A vantagem do condutor neutro é que permite dispor de dois níveis de tensão (tensão de linha e de fase), como se verá na página seguinte. Outra vantagem do condutor neutro é que mantém mais simétricas as tensões frente à presença de cargas desbalanceadas daquele sistema que não conta com neutro.

Um sistema trifásico caracteriza-se por contar com:

**Tensão de base:** É a tensão induzida nos extremos de cada bobina (UUN, UVN e UWN).

**Tensão de linha:** É a tensão entre fase e fase (UUW, UWV e UVU).

**Conexão Triângulo** Se for unido o final de cada fase com o começo da seguinte, por exemplo, Z com U, X com V e Y com W, obtém-se a conexão em triângulo. Neste tipo de conexão não há um ponto comum para as três bobinas; portanto, a conexão em triângulo não tem neutro.

**Corrente da fase:** É a corrente que circula por cada bobina.

**Corrente da linha:** É a corrente que sai de cada terminal.

### **2.7 Palestra do Cord. E Prof. Maurício Passaro**

Os dados abaixo foram resumidos a partir dos arquivos enviados pelo Prof. Maurício Passaro.

## Classificação de fontes energéticas:

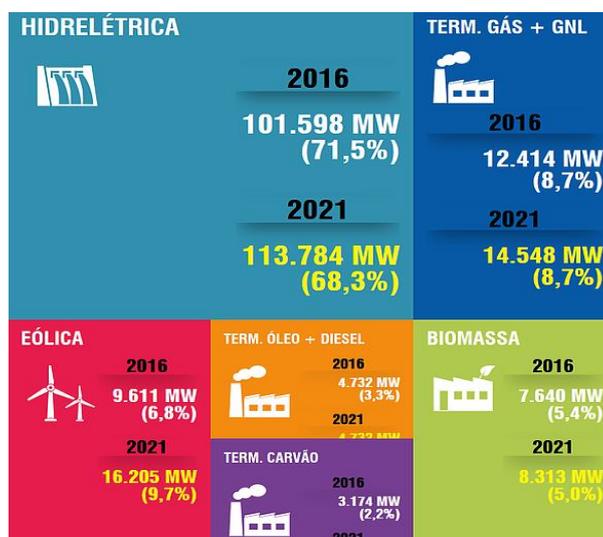
"A fonte de origem geralmente é chamada de Fonte Primária, que é o primeiro grau da informação. Por sua vez a fonte secundária é o resultado da discussão e o resultado das fontes originais. Por fim encontrasse as fontes terciarias, que são a junção entre o material inédito com o material já discutido." (<https://guiadamonografia.com.br/fontes-primarias-e-secundarias/>)

## Tipos de Usinas:

- Hidrelétrica
- Termoelétricas
- Nuclear
- Óleo diesel
- Combustível
- A gás
- Carvão
- Biomassa
- Eólica
- Solar

As formas de produção de energia mais utilizadas no Brasil estão representadas na imagem abaixo:

Figura 12



Fonte: Prof. Maurício Passaro

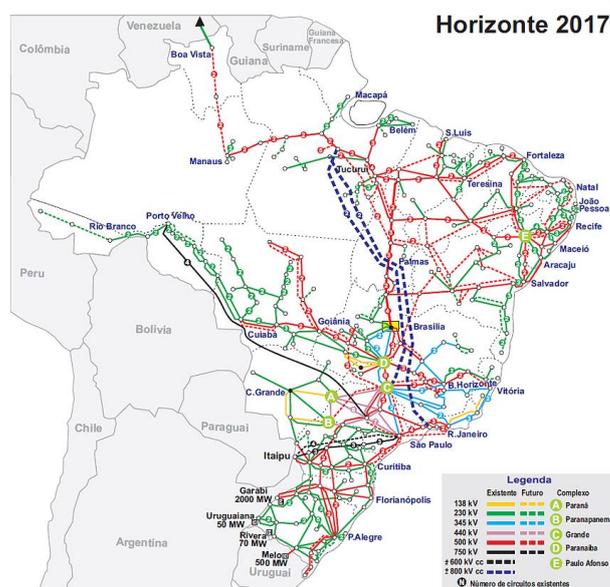
As hidrelétricas são as mais utilizadas. Nelas a energia mecânica se transforma em cinética e posteriormente em energia elétrica.

O Norte se apresenta como maior gerador e a região Sul/Sudeste como maior consumidora.

## Sistema Interligado Nacional (SIN)

O sistema interligado nacional (SIN) é a rede hidro-termo-eólica de transmissão e geração de eletricidade do Brasil que interliga as 5 regiões por 4 subsistemas diferentes (Figura 13). A energia é produzida e consumida no mesmo momento, ainda não possuindo a possibilidade de armazenamento em grandes quantidades.

Figura 13



Fonte: Prof. Maurício Passaro

O SIN, como pode ser visto a baixo (Figura 14), seria capaz de ocupar grande parte da Europa. A distribuição da Europa se difere da brasileira em relação à frequência, 50Hz e 60Hz respectivamente. Para a frequência permanecer em 60Hz é preciso que a geração seja igual ao consumo, se a geração for maior a frequência sobe, se for menor, desce, o que ratifica a necessidade de planejar e programar a Operação.

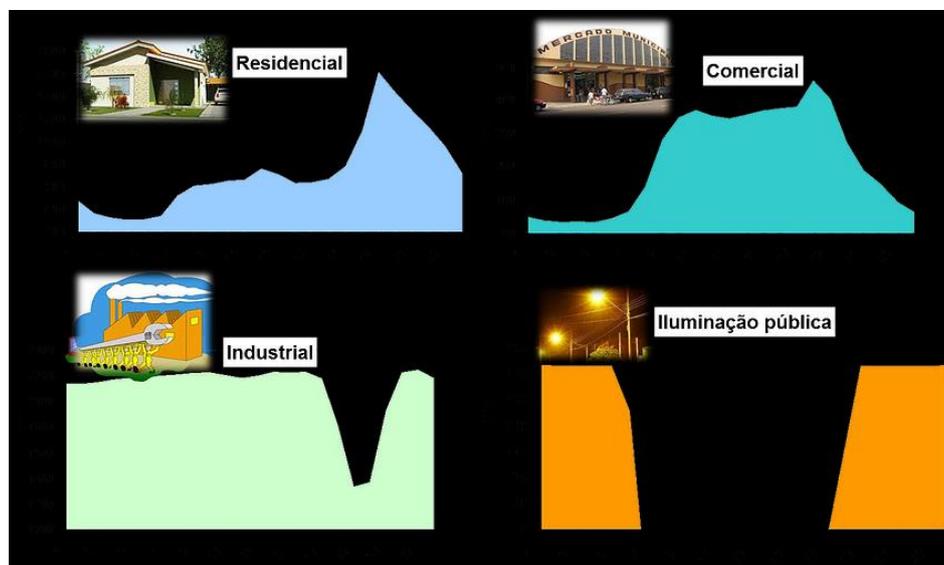


Figura 14

Fonte: Prof. Maurício Passaro

Os consumos de cada setor, no Brasil, podem ser observados a seguir:

Figura 15



Fonte: Prof. Maurício Passaro

## ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

- Controle de Tensão
- Controle de Geração
- Controle de Frequência
- Controle de Carregamento
- Controle de Cheias
- Controle de Limites Operativos
- Coordenação de Recomposição
- Gerenciamento de Carga
- Garantia da Reserva de Potência

- Controle de Intervenção

Fotos de Centros de Operações:

Figura 16



Fonte: Prof. Maurício

### **Horário de Verão:**

No senso comum, o horário de verão é visto como uma forma de economizar energia, mas na verdade, o correto seria dizer que o horário de verão foi criado para diminuir o pico de consumo em determinados momentos do dia, que aumentam em razão do calor característico do período de verão (ex: momento em que há maior uso de ar condicionado).

### **Problemas em Tempo Real:**

**Perda de torres:** Devido ao intemperismo físico, como chuvas, descargas elétricas e ventos fortes, ou até mesmo acidentes, a estrutura das torres de transmissão é comprometida. Devido a difícil reparação dos danos, muitas linhas de transmissão podem ficar sobrecarregadas ao tentar suprir a demanda dos centros consumidores, o que pode levar ao excedente do limite térmico das linhas, como mostra a figura 17.

Figura 17



Fonte: Prof. Maurício Passaro

**Restrições térmicas:** As linhas de transmissão possuem seu próprio limite térmico, que podem resultar em flacidez de linhas, caso seja excedido. Isso pode resultar numa falha de linha, onde a formação de um arco elétrico pode entrar em contato com a vegetação vizinha, estruturas, e claro, o solo. Quando isso acontece, os componentes de transmissão de proteção removem a linha de falha de modo a preservar o equipamento terminal de um dano mais grave. As queimadas, por exemplo, corroboram para perda de trechos das redes de transmissão, haja vista que esta, por elevar a temperatura no local, faz com que o limite térmico da linha seja excedido, causando assim, uma falha na rede.

**Restrições inesperadas:** A ocorrência de situações inusitadas pode causar interrupções na rede, como por exemplo, pessoas que se arriscam subindo em redes de alta tensão sem nenhuma proteção (Figura 18). Até mesmo atentados contra a estrutura de transmissão, como o ocorrido no Acre, onde 7 torres foram derrubadas. Nessa ocasião, segundo o Jornal Gazeta do Povo, cerca de 40 mil pessoas em Sena Madureira e comunidades vizinhas ficaram sem luz por quase três dias.

Figura 18



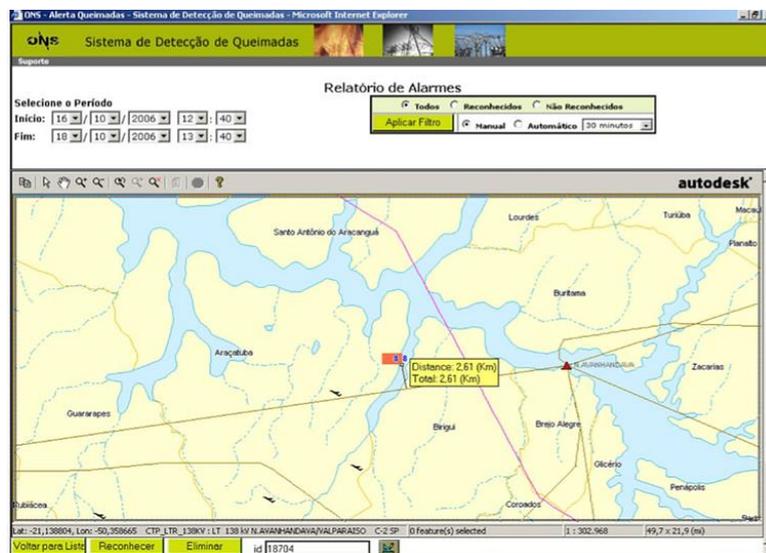
Fonte: Prof. Maurício Passaro

- **Ferramentas de Suporte**

### Ferramenta de Detecção de Queimadas

Através dessa ferramenta (Figuras 19), pode-se detectar os pontos em que está ocorrendo algum tipo de incêndio ou queimada e prevenir futuros prejuízos na rede elétrica, como mostra as imagens abaixo. Algumas vezes, o superaquecimento da rede se dá pelo fato de que foi ultrapassado o limite térmico das linhas que transmitem toda a energia.

Figura 19



Fonte: Prof. Maurício Passaro

### -Ferramenta de Detecção de Descargas Atmosféricas

Com esse mecanismo, é possível analisar as áreas em que se está sujeito a descargas elétricas naquele momento (Figura 20). Assim, várias medidas preventivas serão tomadas antes mesmo que algum raio atinja as linhas de transmissão.

Figura 20

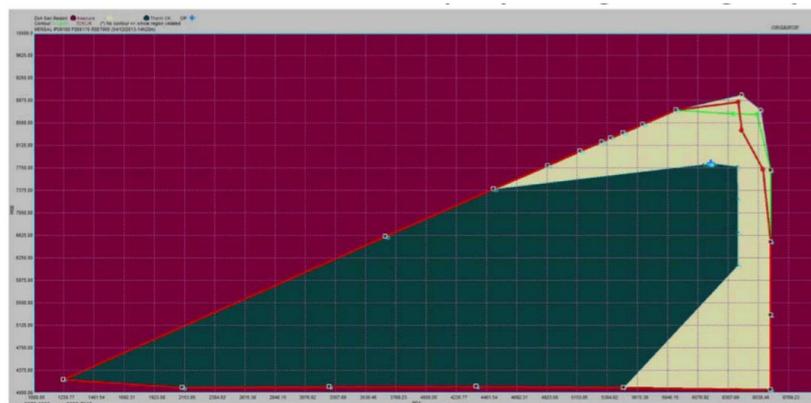


Fonte: Prof. Maurício Passaro

### -Ferramenta de Suporte à Operação – Região de Segurança

Através dessa medida, é possível estabelecer um limiar de segurança operacional, operando em uma faixa considerada segura e protegendo, assim, as instalações elétricas. Os gráficos colaboram para se ter uma visão melhor sobre o assunto (Figura 21).

Figura 21

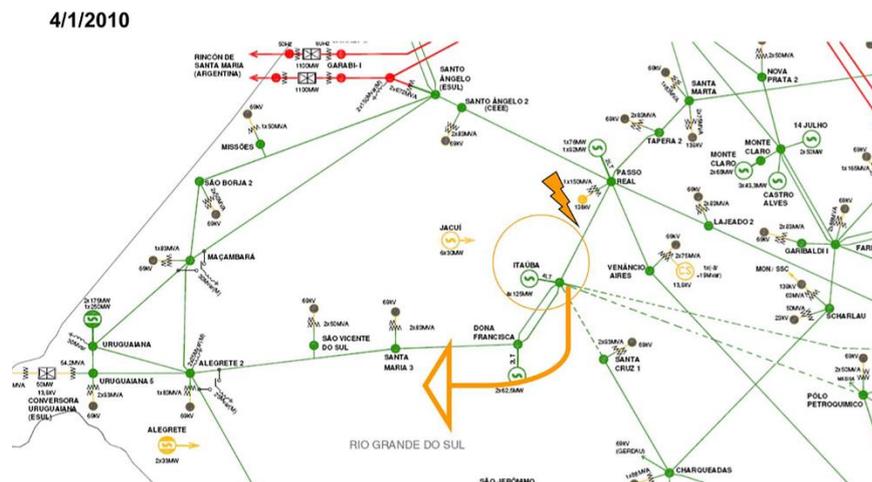


Fonte: Prof. Maurício Passaro

### Resultados Obtidos em Tempo Real

Os resultados de consumo e geração de energia são obtidos através de gráficos que mostram as linhas de consumo ao decorrer de um certo dia. Com essa análise, é possível verificar os horários de pico, ou seja, uma determinada faixa horária em que o consumo é maior do que o esperado, ultrapassando, em alguns momentos, a geração total de energia. Assim, pode-se tomar ações para suprir a alta demanda dos centros consumidores e evitar quedas no fornecimento elétrico.

Figura 22

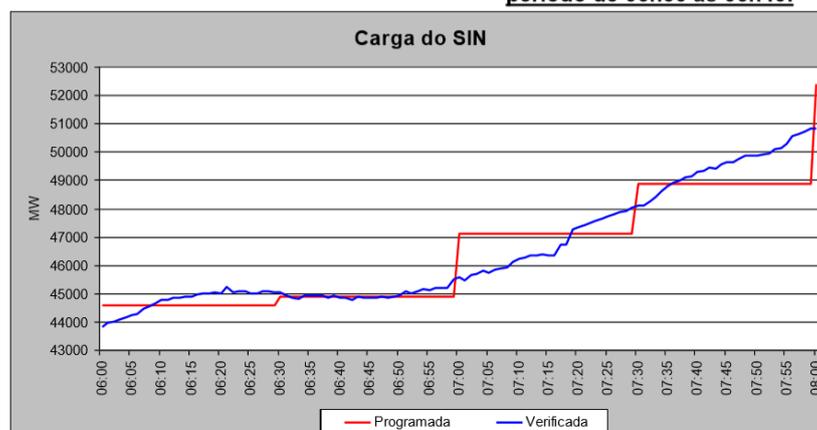


Fonte: Prof. Maurício Passaro

O gráfico acima (Figura 22) demonstra o consumo de energia elétrica por uma determinada cidade no período das 06h30 às 06h40. É possível ver que em alguns momentos a carga programada foi menor do que a verificada.

Figura 23

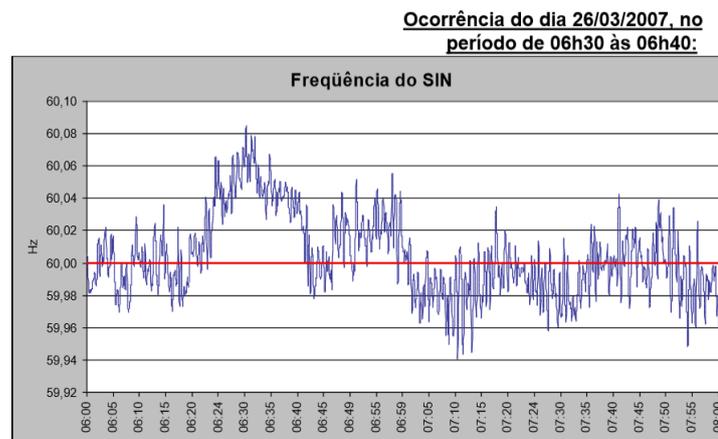
**Ocorrência do dia 26/03/2007, no período de 06h30 às 06h40:**



Fonte: Prof. Maurício Passaro

Na imagem exibida acima, é possível observar que a frequência padrão de 60 HZ foi ultrapassada em alguns horários e em outros ela não foi atingida totalmente.

Figura 24



Fonte: Prof. Maurício Passaro

Neste último gráfico, a geração de energia elétrica máxima foi maior do que a demanda necessária para essa cidade. Contudo, a geração verificada se manteve próximo da geração esperada, ultrapassando apenas após as 07:10 da manhã.

## 2.8 Resumo da Palestra do Prof. Zambroni

Os dados a seguir foram resumidos tendo como base os documentos disponibilizados pelo Prof. Zambroni.

### A importância da Engenharia Elétrica

O engenheiro eletricista é o que move usinas e fábricas geradoras de energia elétrica responsável por coordenar essa área. Atua na geração, transporte e transmissão de energia até a distribuição da energia para diferentes áreas para diversas finalidades.

Também atua na área de circuito eletrônico, automação de equipamento eletrônicos, pode atuar na engenharia biomédica gerenciando equipamentos médicos

Essa grande variável de áreas com que se pode trabalhar que faz dela a base de tudo que envolve eletricidade, como disse o professor Zambroni "A sociedade atual no instante que ficar sem energia elétrica ela imediatamente a ser primitiva"

## **Sistemas Elétricos e Estradas**

Se não existisse energia elétrica em todo o mundo, isso resultaria na ausência de aparelhos que se utilizam da eletricidade como computadores, smartphones, TVs, robôs para fabricação industrial e diversos outros objetos do cotidiano das pessoas. Sendo assim, fica fácil compreender a importância de se ter energia elétrica.

Assim como as estradas que ligam uma cidade a outra, as redes de energia elétrica também têm um funcionamento similar. Nesse caso, a transmissão de energia deve ser constante, a fim de abastecer um centro consumidor afastado e menos desenvolvido.

Os sistemas Elétricos são bastante complexos, uma vez que é preciso ter uma sincronia entre a geração e a distribuição nas redes elétricas. A demanda diária por energia pode ser apenas estimada pelos profissionais da área, mas nunca conhecida precisamente. Isso se deve ao fato de que o consumo varia ao longo de todo o dia, possuindo horário de pico. No caso do Brasil, tem-se um dos maiores sistemas elétricos do mundo e um dos mais bem operados, capaz de detectar falhas rapidamente.

## **Determinando a carga a ser suprida**

Para se determinar o quanto de carga deve ser fornecida a fim de abastecer com êxito uma cidade inteira, deve-se estimar o consumo a cada instante. Além disso, são usados métodos estatísticos ou redes neurais para prever a carga. Gráficos são gerados a todo momento, mostrando as curvas de oscilação do consumo em relação a carga disponível.

## **Funcionamento do Sistema Elétrico**

Para que o Sistema Elétrico funcione com eficiência, é necessário haver um equilíbrio entre a quantidade de energia gerada e a quantidade consumida por um

determinado local. Esse comportamento contribui para manter a energia constante e sem falhas ao longo da rede.

A exemplo do Brasil, a geração está com déficit em relação a carga, pois os geradores são complexos e com reguladores, o que dificulta uma igualdade entre consumo e geração. Além de tudo, o sistema em si, deve ser confiável.

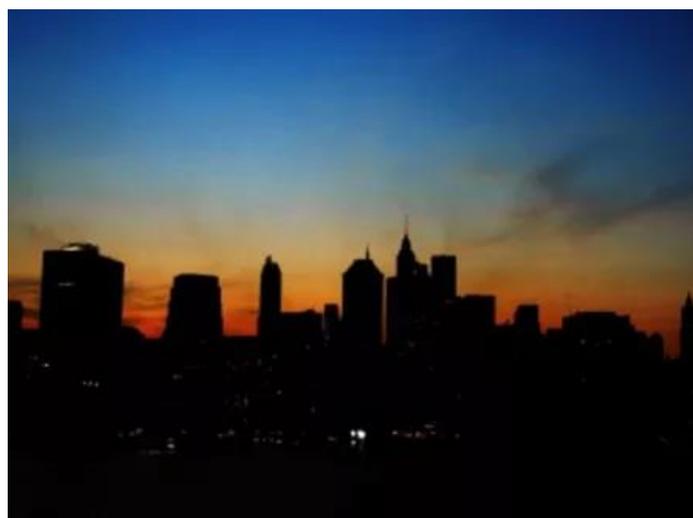
A fim de garantir uma energia de qualidade na casa de milhões de brasileiros, existe a NOS (Operador Nacional do Sistema), responsável por garantir acesso à rede, planejar uma operação energética que atenda os centros consumidores e opera o sistema 24 horas por dia ,a fim de detectar possíveis falhas e encontrar meios para solucioná-las. A frequência de 60 hz também é controlada, bem como a tensão gerada e o carregamento dos equipamentos.

- **Imprevistos**

### **Caso Real Norte-Americano**

Em 14 de agosto de 2013, ocorreu um grande apagão nessa região, deixando 50 milhões de pessoas sem o fornecimento de energia. Esse acontecimento gerou grandes prejuízo: na ordem de 5 bilhões de dólares, afetando comerciantes, empresários e toda a população que depende desse recurso, como pode ser vista na imagem abaixo.

Figura 25



Fonte: Prof. Zambroni

## Quedas de Energia

O corte de energia dos Estados Unidos pode durar dias, em razão do sistema ter como base Usinas Nucleares. Diferentemente do Brasil, que se recupera mais rapidamente (geralmente em 4h), visto que são utilizadas Usinas Hidrelétricas, sendo a “reiniciação” mais fácil, algo essencial já que como citado na palestra “ a ausência de energia elétrica leva o homem ao primitivismo”.

Ex: Blecaute de Março de 1999 no Brasil – 70% do país ficou sem energia por 4h (Figura 26).

Figura 26



Fonte: Prof. Zambroni

## Mídia e o blecaute

A mídia não destaca a importância e a dificuldade de um Engenheiro que monitora determinados problemas na rede de energia, procurando culpados pelo ocorrido e manipulando a população.

## Ártur Avila

Ártur Avila (Figura 27), brasileiro, matemático que ganhou a Medalha Fields 2014 (equivalente ao prêmio Nobel de matemática).

Figura 27



Fonte: (<https://www.napratca.org.br/maior-cientista-brasileiro-artur-avila-explica-como-atingiu-o-sucesso/>)

## **Aplicações da Engenharia**

A engenharia, em especial a Engenharia Elétrica, apresenta um mercado de atuação amplo e de extrema importância. Assim como o de Especialista em Sistemas dinâmicos. A baixo áreas em que tal profissional pode atuar:

- Sistemas elétricos
- Sistemas térmicos (ônibus espacial)
- Sistemas Químicos
- Modelagem de violência
- Modelagem de pobreza
- Modelagem de alocação de ambulâncias em estradas
- Modelagem de doenças endêmicas
- Modelagem de economia

Atuações em Itajubá: Pobreza em Itajubá; Violência de gênero.

Tais tópicos de atuação estão sendo estudados por alunos de Engenharia Elétricas em períodos mais avançados.

## **2.9 Resumo – Palestra Professor Paulo Ribeiro**

Na palestra ministrada no dia 9 de maio de 2019, o Professor Paulo Ribeiro nos apresentou um breve resumo de sua história profissional e acadêmica, relatando seus principais desafios e escolhas enfrentadas.

A seguir, é possível verificar algumas das realizações do professor na área da educação e no mercado de trabalho:

### **Educação:**

- Centro de Preparação de Oficiais da Reserva (CPOR) de Arma de Engenharia, Recife, 1972, 7º Batalhão de Engenharia de Combate, Natal, 1973.
- BSEE - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 1975 (programa de 5 anos) - Estágio: Oficina Diesel-Elétrica em Recife (74-75);
- Curso de Tecnologias de Engenharia de Energia, PTI, Schenectady, Nova York, 1979;
- Doutorado em Engenharia Elétrica - University of Manchester, Inglaterra, 1981-1985 (Propagação Harmônica em Sistemas de Transmissão);
- MBA, Lynchburg University, Lynchburg, Virgínia, 2000, EUA;
- Curso de Mestrado em Filosofia e Teologia no Calvin Seminary, Grand Rapids, Michigan - 2005-2008.

### **Formação profissional:**

- Estudos do Sistema (Fluxo de Carga, Estabilidade e Curto-Circuito) - 1976-81 (Planejamento do Sistema T & D), Carga de irrigação de Petrolina
- Electric Eletrificação Ferroviária AC - Estudos do Sistema para uma Ferrovia Industrial no Norte do Brasil, 1976 - 77
- Banco de Dados de Cargas Especiais (CHESF), 1978 - 79
- Medições de Harmônicas, Flicker e Desequilíbrio de Tensão, 1978 - 81
- Estudos iniciais de um SVC para Aplicação no Sistema de Transmissão, 1979-81.
- PhD - Penetração Harmônica em Sistemas de Transmissão, Universidade de Manchester, Reino Unido, 1982-1985 - Assistente de laboratório.
- Comissionamento da SVC, Brasil, 1985;

- P Projetos-piloto de energia alternativa (eólica e solar), 1985-1987
- Impacto de Cargas Residenciais (Receptores de TV) na Distorção Harmônica do Sistema T & D, Brasil, 1986
- Padrões Harmônicos, IEEE, CIGRE, 1987 -
- Modelagem e Simulação de Harmônicos, IEEE, 1990 -
- Poder Espacial, Base Lunar, Centro de Pesquisas da NASA, Cleveland, 1991 - 92
- Wavelets para Qualidade de Energia, 1991 - 1992
- Qualidade de energia e dispositivos FACTS, Vale do Silício, EUA, 1992 - 94

Figura 28. Imagem do Prof. Paulo Ribeiro



Fonte: Prof. Paulo Ribeiro

A partir do que foi apresentado, é evidente que a carreira de engenharia possui inúmeros obstáculos e oportunidades, das quais é necessário tirar o máximo de aproveitamento e dar o melhor de si sempre, pois um trabalho bem feito garante sucesso no futuro. O professor Paulo Ribeiro, sendo assim, serve como exemplo de dedicação e profissionalismo para milhares de pessoas que pretendem ingressar na carreira de Engenharia Elétrica.

### 3 METODOLOGIA

Inicialmente, o projeto era voltado a um estudo teórico a respeito do efeito piezoelétrico. Com o desenvolvimento dos estudos de tal material e devido à relevância da geração de energia limpa e sustentável surgiu a oportunidade de implementação de tal tecnologia no Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE) na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), a fim de estimular a aplicação de novas fontes de energia.

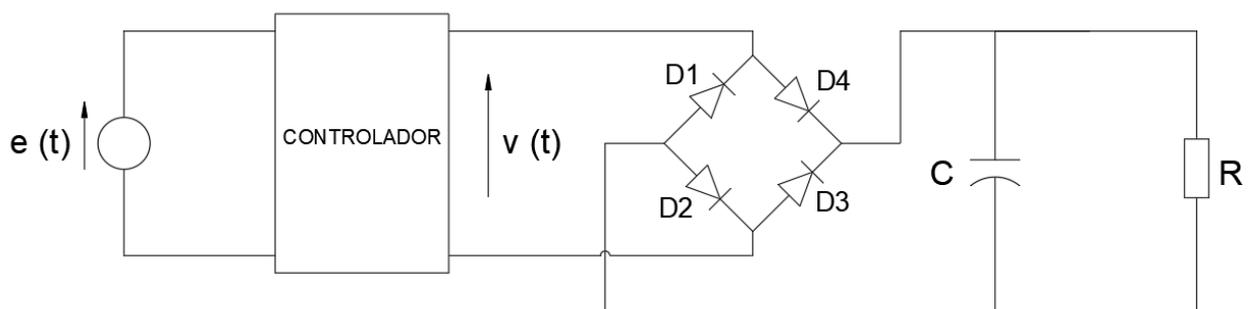
Durante a primeira reunião, o grupo discutiu qual seria a melhor escolha da vertente que iria ser seguida, em consenso decidiu-se que seria algo relacionado à novas fontes de energia limpa. Com pesquisas relacionadas ao assunto, viu-se um recente material que produz energia elétrica, o piezoelétrico. Como as pesquisas desse material são relativamente recentes, viu-se nele uma forma de mostrar, de maneira didática, suas propriedades e modo de geração de energia limpa.

No dia 13/03/19, o Prof. Dr. Paulo Fernando Ribeiro orientou a equipe a se reunir com o Prof. Dr. Antônio Carlos Zambroni de Souza, que demonstrou interesse na aplicação e desenvolvimento do projeto. Em seguida, no dia 04/04/19, foi realizado o primeiro encontro com o professor, o qual demonstrou curiosidade e interesse na didática e, prestou-se a custear a implementação da tecnologia. Com a orientação do professor Zambroni, que foi imprescindível para o desenvolvimento do projeto, foi possível a união da didática com a aplicação do estudo do piezoelétrico

O propósito principal do projeto é despertar de forma didática a importância do estudo de novas formas de geração de energia de fontes alternativas, mostrando as inúmeras possibilidades de obtenção de energia.

Sendo assim, a partir do tema do projeto, já definido, foi feito um esboço do circuito geral que se pretende construir, onde R representa o banco de baterias e/ou a carga que será alimentada, o esboço está descrito na Figura 1.

Figura 1. Circuito Inicial



Fonte: Autoria própria obtida no software AutoCAD

Como o piezoelétrico gera tensões alternadas ( $e(t)$ ), mas sem um padrão definido, por exemplo, pode ocorrer um formato de onda parecida com “espículas”. Sendo assim, o piezoelétrico não pode ser ligado diretamente ao restante do circuito, pois o danificaria. Dessa forma viu-se necessário o uso de um controlador (LTC3588) para que na saída deste fosse fornecida uma tensão senoidal ( $v(t)$ ) e, essa tensão fosse retificada pelo circuito retificador em ponte, e, por fim armazenada em um super capacitor ou em baterias e depois alimentar uma carga.

A primeira ideia de implantação foi no Centro de Convivência, da UNIFEI, em seguida uma outra ideia foi a implantação do piezoelétrico na faixa de pedestres, com o intuito de aproveitar o movimento dos pedestres e dos automóveis. Posteriormente aderimos a uma aplicação didática, como já citado anteriormente.

Juntamente com o projeto, foi proposta a criação de um blog, com o objetivo de atualizar a evolução do trabalho e pesquisas relacionadas à engenharia. Além disso, fez com que o público externo pudesse ter acesso aos conteúdos abordados no curso.

Figura 2. Página Inicial do Blog

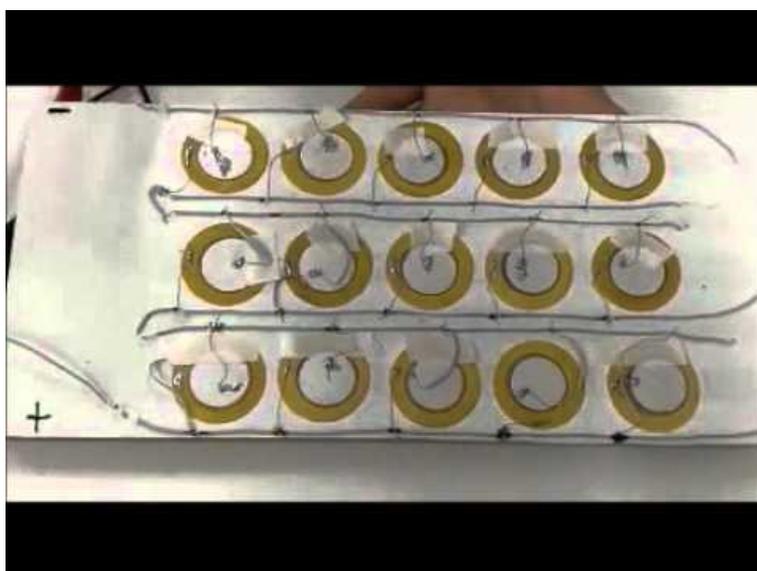


Fonte: <https://eletrogreenunifei.wixsite.com/home>

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados puderam ser evidenciados com a esquematização de um protótipo piezoelétrico a ser instalado na entrada do bloco I da UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá). A partir das pesquisas e orçamentos realizados, chegou-se à conclusão de que é viável colocar em prática, mesmo gerando uma quantidade reduzida de energia. A seguir, é apresentado um modelo que combina diversas pastilhas condutoras de energia, com a finalidade de gerar uma quantidade de energia elétrica através da vibração das pastilhas:

Figura 1



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=PAPg7qWwU7U>

A seguir, é mostrado uma imagem panorâmica do local a ser implementado a piezoeletricidade dentro do campus da UNIFEI:

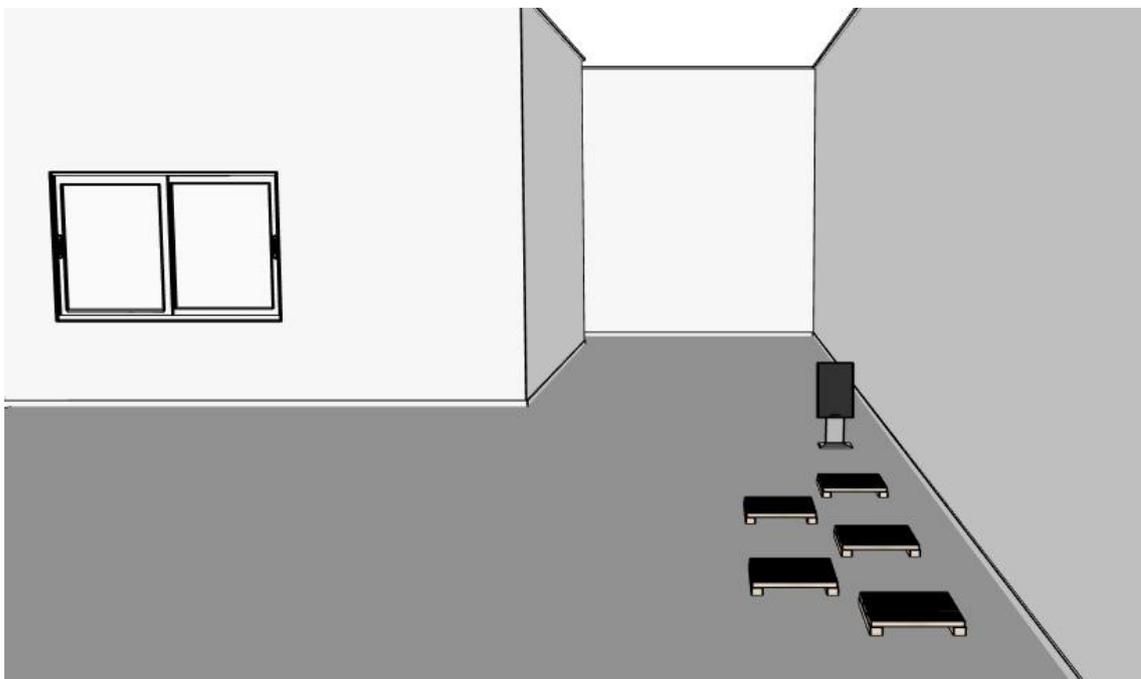
Figura 2. Imagem do local a ser introduzido o “Piezoelétrico”



Fonte: Autoria própria

Com base nas imagens obtidas do local de referência, foram realizados estudos de como será a implementação do projeto através de um protótipo confeccionado com o auxílio de um software. Assim, é possível verificar as dimensões a serem utilizadas no projeto final e analisar todos os componentes, bem como o local a serem colocados na placa piezoelétrica (Figura 3):

Figura 3



Fonte: Autoria própria, produzida com o Software Photoshop

Posteriormente, com o projeto já instalado no devido local, a energia cinética proveniente do pressionamento no tapete elétrico será transformada em elétrica pela pisada de cada pessoa que passar pelo sistema. Assim, uma vez que o usuário já passou pelo “tapete”, algumas informações serão obtidas. Será exibido no painel a quantidade de energia gerada por cada passo e o número de pessoas que passam sobre o sistema por um determinado período, dando uma noção da viabilidade do projeto e estimulando o uso de fontes renováveis para obtenção de energia elétrica.

A imagem a seguir mostra o resultado final do experimento:

Figura 4



Fonte: Autoria própria, feito a partir do Software Photoshop

## 5 CONCLUSÃO

Através da pesquisa e da temática do projeto, foi possível entender mais sobre o funcionamento do Piezoelétrico, assim como suas aplicações nas mais diversas situações, apesar da baixa produção de energia. Ademais, foi de grande contribuição para maior conhecimento sobre a área de Engenharia Elétrica, além de ter proporcionado a oportunidade de aprofundar mais nossos conhecimentos em relação às fontes energéticas sustentáveis. Dessa maneira, conclui-se que o piezoelétrico não seria uma boa opção para ser usada isoladamente, porém tem grande potencial de aplicação quando combinado com outras formas de produção, como as termoelétricas.

## 6 REFERÊNCIA

<<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/pierre-curie/biographical/>>.

Data de acesso: 04 junho de 2019.

<<https://www.aps.org/publications/apsnews/201403/physicshistory.cfm>>

Data de acesso: 04 de junho de 2019.

<<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL652138-6174,00->

DANCAR+GERA+ENERGIA+ELETRICA+EM+BOATE+ECOLOGICA+NA+INGLATERR  
A.html >

Data de acesso: 06 junho de 2019.

<<https://eletrogreenunifei.wixsite.com/home>>

Data de acesso: 13 de março de 2019.

<https://www.youtube.com/watch?v=PAPg7qWwU7U>

Data de acesso: 28 de junho de 2019.

<https://eletrogreenunifei.wixsite.com/home>

Data de acesso: 28 de junho de 2019.

<[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=BAQWXfj8FLDZ5OUPw9iw4A0&q=pastilhas+piezoeletricas&oq=pastilhas+piezoeletricas&gs\\_l=img.3..35i39j0i24.6270.6630..6831...0.0..0.181.421.0j3.....0....1..gws-wiz-img.Lstsh0hXKFI#imgsrc=h6oYFmnN0IYn9M](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=BAQWXfj8FLDZ5OUPw9iw4A0&q=pastilhas+piezoeletricas&oq=pastilhas+piezoeletricas&gs_l=img.3..35i39j0i24.6270.6630..6831...0.0..0.181.421.0j3.....0....1..gws-wiz-img.Lstsh0hXKFI#imgsrc=h6oYFmnN0IYn9M)>

Data de acesso: 14 de junho de 2019.

<<https://scroll.in/article/886304/why-thomas-edisons-legacy-is-being-questioned-and-why-thats-a-lesson-for-america>>

Data de acesso: 14 de junho de 2019.

<<http://www.sesipr.org.br/idiomas/a-guerra-das-correntes-1-19487-221944.shtml>>

Data de acesso: 14 de junho de 2019.

RIBEIRO, Paulo Fernando: **Palestra sobre carreira profissional**. Itajubá, 2019.

SOUZA, Antônio Carlos Zambroni: **Palestra engenharia elétrica**. Itajubá, 2019.

FILHO, Jacques Miranda: **Palestra fontes de energia**. Itajubá, 2019.

PASSARO, Maurício Campos: **Classificação das fontes energéticas**. Itajubá, 2019.

BALESTRASSI, Pedro Paulo: **Pensando Estatisticamente**. Itajubá, 2019.

SILVA, R.P. Piezoelectricidade como fonte de energia alternativa. **Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza**, N<sup>o</sup>. 000121, 2018.